

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный университет
пищевых производств»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»

**ЦИФРОВАЯ НУТРИЦИОЛОГИЯ:
применение информационных технологий
при разработке и совершенствовании пищевых продуктов**

Монография

Москва — Барнаул • 2020

УДК 664.021.3/.4.002.64(035)

ББК 36.18

Ц752

Коллектив авторов:

В. А. Тутельян, О. Н. Мусина, М. Г. Балыхин, М. П. Щетинин, Д. Б. Никитюк

Рецензенты:

доктор биологических наук, профессор, академик РАН, вице-президент РАН *И. М. Донник*

доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
руководитель научно-образовательного центра «Прикладная биотехнология и нутрициология»
ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России, профессор кафедры технологии питания
ФГБОУ ВО УрГЭУ *В. М. Позняковский*

Ц752 **Цифровая нутрициология: применение информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов [Текст] : монография / В. А. Тутельян, О. Н. Мусина, М. Г. Балыхин, М. П. Щетинин, Д. Б. Никитюк. — Москва ; Барнаул : АЗБУКА, 2020. — 378 с.**

ISBN 978-5-93957-969-8

Теоретические и практические аспекты нового научного направления «Цифровая нутрициология» рассмотрены в монографии через призму применения информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов.

Первая глава посвящена современной парадигме алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса населения. Во второй главе описаны возможности инструментария цифровой экономики в вопросах разработки и совершенствования пищевых продуктов. Исследованы возможности применения современных систем компьютерной алгебры для проектирования продуктов питания на основе принципов пищевой комбинаторики. Впервые детально проанализированы доступные цифровые инструменты проектирования рецептов в России и за рубежом. Рассмотрено коммерческое и свободное программное обеспечение для разработки и совершенствования поликомпонентных пищевых продуктов. Впервые описаны цифровые инструменты поиска достоверной информации о нутриентных профилях пищевых продуктов — свободно доступные мировые официальные базы данных по составу пищевых продуктов и сырья (на русском и английском языках). Кратко очерчены возможности свободного языка программирования GNU R в совершенствовании пищевых продуктов. В третьей главе рассмотрен ряд кейсов (прикладных примеров), базирующихся на применении информационных технологий при разработке новых и совершенствовании известных пищевых продуктов. Кейсы даны разной степени детальности — от максимально подробных к обобщенным ситуациям. Основой кейсов и дорожных карт является анализ многолетнего опыта авторов в решении подобных задач.

Монография рассчитана на научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области технологии производства пищевых продуктов, нутрициологии, рекомендуется преподавателям, аспирантам, занимающимся вопросами исследования, разработки и реализации технологических процессов производства пищевых продуктов с заданным составом и свойствами. Кроме того, книга будет полезна бакалаврам, магистрантам и аспирантам, обучающимся по направлениям ФГОС ВО 190000 Промышленная экология и биотехнологии, в частности, по направлениям бакалавриата: 190302 Продукты питания из растительного сырья, 190303 Продукты питания животного происхождения, 190304 Технология продукции и организация общественного питания; по направлениям магистратуры: 190402 Продукты питания из растительного сырья, 190403 Продукты питания животного происхождения, 190404 Технология продукции и организация общественного питания, 190405 Высотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения; по направлениям аспирантуры: 190601 Промышленная экология и биотехнологии.

УДК 664.021.3/.4.002.64(035)

ББК 36.18

К 90-летию



МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННАЯ ПАРАДИГМА АЛИМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИИ НАРУШЕНИЙ ПИЩЕВОГО СТАТУСА	13
1.1. Глобальные вызовы, связанные с неполноценным питанием, и возможные стратегии ответа. Российские приоритеты в сфере здорового питания	14
1.2. Тенденции и современное состояние структуры питания населения России. Возможности алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса	34
1.3. Обогащение пищевой продукции массового потребления в России и на Западе. Пищевые продукты функциональные, обогащенные, нутрифицированные и фортифицированные	56
1.4. Основные этапы эволюционного развития нутрициологии. Появление, развитие и смена концепций в области здорового питания. Феномен цифровой нутрициологии.....	77
ГЛАВА 2. ВОЗМОЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В ВОПРОСАХ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	99
2.1. Алгоритм анализа научно-технической литературы при постановке задач проектирования пищевых продуктов	100
2.2. Теоретические принципы создания пищевых продуктов с желаемым комплексом показателей пищевой ценности	107
2.3. Формализованное описание этапов системы проектирования рецептур пищевых продуктов	117
2.4. Цифровые инструменты проектирования рецептур: анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения	132
2.5. Цифровые инструменты поиска данных о нутриентных профилях пищевых продуктов и сырья	162
2.6. Совершенствование пищевых продуктов с использованием возможностей свободного языка программирования <i>GNU R</i>	176

ГЛАВА 3. ПРИКЛАДНЫЕ ПРИМЕРЫ (КЕЙСЫ) ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	195
3.1. Кейс «Сплайновая интерполяция экспериментальных данных и прогнозирование содержания каротина с помощью PTC MathCAD»	196
3.2. Кейс «Построение математической модели технологического процесса и оценка ее адекватности с помощью PTC MathCAD».....	200
3.3. Кейс «Оценки точности прогноза математической модели процесса сквашивания с помощью MS Excel».....	208
3.4. Кейс «Автоматизация с помощью PTC MathCAD дисперсионного анализа на примере молочно-зерновой смеси».....	210
3.5. Кейс «Интерполяция числового ряда данных дискретного измерения содержания витамина С в блюде с помощью PTC MathCAD»	217
3.6. Кейс «Применение TableCurve 3D для построения математической модели процесса синерезиса и статистического анализа модели»	217
3.7. Кейс «Автоматизация расчета погрешности измерения при оценке содержания белка в говядине с помощью PTC MathCAD».....	222
3.8. Кейс «Анализ "что-если" при оптимизации рецептуры мороженого с соком с помощью MS Excel»	226
3.9. Кейс «Обработка данных (расчет расхода сырья, витаминизация сыра) с помощью инструмента «Таблица подстановки» MS Excel»	229
3.10. Кейс «Построение трехмерной модели содержания омега-3 жирной кислоты в продукте с помощью инструмента «Таблица подстановки» MS Excel».....	234
3.11. Кейс «Составление дневного рациона с учетом суточных потребностей с помощью инструментов «Поиск решения» и «Анализ отчетов» MS Excel»	236
3.12. Кейс «Прогнозирование результата с помощью инструмента «Подбор параметра» MS Excel»	245
3.13. Кейс «Автоматизация с помощью MS Excel принятия решений с учетом ограничивающих факторов».....	252

3.14. Кейс «Решение оптимизационных задач методом линейного программирования»	255
3.15. Кейс «Выявление грубых ошибок с помощью MS Excel при измерении содержания влаги в проектируемом продукте»	265
3.16. Кейс «Составление с помощью MS Excel детерминированной математической модели на примере задачи оптимизации производственной программы»	273
3.17. Кейс «Оптимизация рецептуры пломбира с заданным составом с помощью инструмента «Поиск решения» MS Excel»	275
3.18. Кейс «Установление с помощью MS Excel доверительных интервалов для математического ожидания на примере батончика, обогащенного пищевыми волокнами»	279
3.19. Кейс «Установление с помощью MS Excel корреляционной зависимости свойств проектируемого продукта на примере витаминизированного киселя»	282
3.20. Кейс «Реализация метода наименьших квадратов с помощью MS Excel и PTC MathCAD на примере биточков из рыбного фарша»	285
3.21. Кейс «Выбор с помощью PTC MathCAD наилучшей регрессионной модели на примере творожно-ягодного суфле»	295
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	300
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	302
<i>Приложение 1. Глоссарий</i>	330
<i>Приложение 2. Нормативно-правовая база Российской Федерации в сфере безопасности и здорового питания</i>	358
<i>Приложение 3. Интеллектуальная собственность авторов в сфере цифровой нутрициологии</i>	361
<i>Приложение 4. Двухфакторный дисперсионный анализ молочно-зерновых смесей</i>	368
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	393

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с планами реализации национального проекта «Демография», федерального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» и Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р) одной из важнейших задач является выполнение фундаментальных и поисковых научных исследований в области приоритетных направлений медицины, нутрициологии, диетологии, биотехнологий, направленных на обоснование принципов оптимального питания человека и повышение приоритета профилактики неинфекционных заболеваний. Реализация национальных проектов требует новых подходов и усиления роли науки в решении этих проблем.

Питание — один из фундаментальных факторов, определяющих здоровье человека и сохранение генофонда нации. Рациональное и сбалансированное питание обеспечивает необходимые условия для нормального физического и умственного развития, помогает противостоять воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, способствует профилактике заболеваний, увеличению продолжительности и повышению качества жизни населения [144].

В самом обобщенном виде нутрициологию можно определить как часть биологии, изучающую питание и развитие человека в зависимости от условий и состояния окружающей среды [142]. Нутрициология относится к интенсивно развивающимся наукам интегративного характера. Трудно назвать какое-либо другое научное направление, требующее для своего развития так много дисциплин, как нутрициология. Кроме практически всех медико-биологических наук, это базовые науки, такие как химия, физика и, пожалуй, весь комплекс естественно-научных дисциплин. Нутрициология также требует участия экономического научного блока и использования геополитического подхода. Самых интересных открытий в нутрициологии в самом ближайшем будущем общество ждет на стыке этих столь, казалось бы, отдаленных друг от друга наук [198]. Интеграция нутрициологии с инженерными науками, в частности с пищевыми технологиями, открывает перспективы для развития новых современных цифровых методов и приемов разработки продуктов с заданным

химическим составом, специализированных продуктов, а также для персонализации рационов.

Российская академия наук отмечает феномен появления нового научного направления «Цифровая нутрициология», предусматривающего цифровую трансформацию данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов, а также создание компьютерных программ для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию. Появилась объективная необходимость в формировании этого нового научного направления, поэтому постановлением Президиума Российской академии наук от 27 ноября 2018 г. № 178 «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» (п. 11) ученым поручено выполнить эту задачу.

Авторы надеются, что данная монография станет важной вехой в формировании нового научного направления «Цифровая нутрициология».

Цифровая нутрициология обеспечит перевод на язык цифр, с одной стороны, физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах и ориентированных на них рационов питания, а с другой — химического состава пищевых продуктов и рационов в целом. Созданные на их основе компьютерные программы позволят легко, быстро и надежно осуществлять разработку персонализированных рационов как для здорового питания населения, так и для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний.

Реализация этого научного направления имеет важное медико-социальное значение, способствуя обеспечению высокого качества жизни, ее продолжительности, существенно снижая экономические потери страны, обусловленные приобретением ряда алиментарно-зависимых заболеваний [181].

Авторский коллектив попытался сформулировать теоретические и практические аспекты цифровой нутрициологии на основе применения информационных технологий в части, касающейся разработки и совершенствования пищевых продуктов.

Первая глава монографии посвящена современной парадигме алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса населения. На основе материалов ФАО/ВОЗ/ООН проанализированы глобальные

вызовы продовольственной безопасности, актуальные стратегии ответа на эти вызовы и возможности их применения в российской практике. Исследована структура питания населения России на основе официальных статистических данных и данных научно-технической литературы. Дана оценка обеспеченности населения России макро- и микронутриентами. Рассмотрены возможности алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса, кратко описаны вопросы обогащения пищевой продукции массового потребления в Российской Федерации и странах Запада. Сделан краткий экскурс в историю появления, развития и смены концепций в области здорового питания: в исторической ретроспективе приведено описание основных этапов эволюционного развития нутрициологии, сделан акцент на основных вехах и работах выдающихся ученых в этой области.

Во второй главе описаны возможности инструментария цифровой экономики в вопросах разработки и совершенствования пищевых продуктов. Описан авторский алгоритм анализа научно-технической литературы при первичной постановке задач проектирования пищевых продуктов и дан пример реализации этого алгоритма с использованием инструментария цифровой экономики. Приведены известные теоретические принципы создания пищевых продуктов с желаемым комплексом показателей пищевой ценности. Рассмотрены особенности построения этих принципов с точки зрения разных школ/ученых. Предлагаемое авторами монографии формализованное описание этапов системы проектирования рецептур пищевых продуктов объединяет классические принципы пищевой комбинаторики с современным инструментарием цифровых технологий. Исследованы возможности применения современных систем компьютерной алгебры для проектирования продуктов питания на основе принципов пищевой комбинаторики. Впервые детально проанализированы наилучшие доступные цифровые инструменты проектирования рецептур в России и за рубежом, дан критический анализ современного программного обеспечения по проектированию рецептур. Рассмотрено коммерческое и свободное программное обеспечение для разработки и совершенствования поликомпонентных пищевых продуктов. Впервые описаны цифровые инструменты поиска достоверной информации о нутриентных профилях пищевых продуктов — свободно доступные мировые официальные базы данных по составу пищевых продуктов и сырья (на

русском и английском языках). Кратко очерчены возможности свободного языка программирования *GNU R* в совершенствовании пищевых продуктов.

Третья глава посвящена практическим приложениям цифровой нутрициологии. Авторами рассмотрены примеры (кейсы) применения информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов с использованием различных математических методов, моделей и ЭВМ программ (PTC MathCAD, MS Excel, TableCurve). Метод *case-study*, или метод конкретных ситуаций (от английского *case* — случай, ситуация), впервые использован в Гарварде и зарекомендовал себя во всем мире. Этот метод основан на приобретении опыта путем изучения «дорожных карт» (хода решения) конкретных задач — ситуаций (решение кейсов). В главе рассмотрен ряд таких кейсов, базирующихся на применении информационных технологий при разработке новых и совершенствовании известных пищевых продуктов. В большинстве случаев решается задача оптимизации состава конкретной пищевой продукции. Кейсы даны разной степени детальности — от максимально подробных к обобщенным ситуациям. Основой кейсов являются анализ многолетнего опыта авторов в решении подобных задач, дорожные карты, также авторские. Изучение таких кейсов позволит использовать их в качестве научно-методической помощи при разработке пищевых продуктов как молодыми исследователями, так и опытными учеными и производственниками.

Монография рассчитана на научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области технологии производства пищевых продуктов, нутрициологии, рекомендуется преподавателям, аспирантам, занимающимся вопросами исследования, разработки и реализации технологических процессов производства пищевых продуктов с заданным составом и свойствами. Исследование будет полезно бакалаврам, магистрантам и аспирантам, обучающимся по направлениям ФГОС ВО 190000 Промышленная экология и биотехнологии, в частности, *по направлениям бакалавриата*: 190302 Продукты питания из растительного сырья, 190303 Продукты питания животного происхождения, 190304 Технология продукции и организация общественного питания; *по направлениям магистратуры*: 190402 Продукты питания из растительного сырья, 190403 Продукты питания животного происхождения, 190404 Технология продукции и организация

общественного питания, 190405 Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения; *по направлениям аспирантуры*: 190601 Промышленная экология и биотехнологии. Кроме того, материалы монографии рекомендуются соискателям ученой степени по следующим научным специальностям: 05.18.01 Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства; 05.18.04 Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств; 05.18.05 Технология сахара и сахаристых продуктов, чая, табака и субтропических культур; 05.18.06 Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов; 05.18.07 Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ; 05.18.15 Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННАЯ ПАРАДИГМА АЛИМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИИ НАРУШЕНИЙ ПИЩЕВОГО СТАТУСА

Среди глобальных современных проблем одной из важнейших является снабжение населения высококачественными продуктами питания. Рассмотрены следующие аспекты продовольственной безопасности: глобальные вызовы (на основе материалов ФАО/ВОЗ/ООН), актуальные стратегии ответа на эти вызовы и возможности их применения в российской практике.

Проанализирована структура питания населения России на основе официальных статистических данных и данных научно-технической литературы. Дана оценка обеспеченности населения России макро- и микронутриентами. Исследованы возможности алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса, кратко описаны вопросы обогащения пищевой продукции массового потребления в Российской Федерации и странах Запада.

Сделан краткий экскурс в историю появления, развития и смены концепций в области здорового питания. Приведено описание основных этапов эволюционного развития науки о питании (нутрициологии), сделан акцент на основных вехах и работах выдающихся ученых в этой области. Интеграция нутрициологии с инженерными науками, в частности с пищевыми технологиями, открывает перспективы для развития новых современных цифровых методов и приемов разработки продуктов с заданным химическим составом, специализированных продуктов, а также для персонализации рационов.

В настоящее время появилась возможность создания и широкого использования на практике математических и информационных технологий и моделей. Цифровая нутрициология обеспечит перевод на язык цифр, с одной стороны, физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах и ориентированных на них рационов питания, а с другой — химического состава пищевых продуктов и рационов в целом. Созданные на их основе компьютерные программы позволят легко, быстро и надежно осуществлять разработку персонализированных рационов как для здорового питания населения, так и для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний.

***Ключевые слова:** питание, структура питания, обогащение пищевой продукции, здоровое питание, нутрициология, концепции, цифровая нутрициология, цифровизация.*

1.1. Глобальные вызовы, связанные с неполноценным питанием, и возможные стратегии ответа. Российские приоритеты в сфере здорового питания

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединенных Наций (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, FAO¹) и Всемирная организация здравоохранения (World Health Organization, WHO, ВОЗ²) оценивают абсолютное количество людей в мире, страдающих от неполноценного питания, как неприемлемо высокое — это около 805 млн человек по данным 2012–2014 гг. В Докладе³ совместного секретариата FAO/ВОЗ о работе II Международной конференции по вопросам питания (Римская Декларация по вопросам питания) международным сообществом, включая Россию (Российская Федерация является членом FAO с 2006 г., избрана в Совет FAO, и русский язык является одним из официальных языков FAO), еще раз было подтверждено право каждого человека в достаточном объеме получать безопасные и полезные продукты питания, которое согласуется с правом на достаточное питание и основополагающим правом на жизнь без голода. Продовольствие — это проявление ценностей, культур, социальных связей и самовыражения народов, и сам акт потребления пищи и кормления других является воплощением нашего суверенитета, самобытности, прав и возможностей. Отмечено, что неполноценное питание во всех его формах, включая недоедание, недостаточность питательных микроэлементов, избыточный вес и ожирение, не только затрагивает здоровье и благополучие людей, негативно влияя на физическое и умственное развитие личности, угрожая иммунной системе, снижая устойчивость к неинфекционным и инфекционным заболеваниям, препятствуя реализации потенциала личности и снижая производительность труда, но и ложится тяжелым бременем в виде социально-экономических издержек на отдельных людей, семьи, общины

¹ <http://www.fao.org/home/ru/>.

² <https://www.who.int/ru/home>.

³ <http://www.fao.org/3/a-i4436r.pdf>.

и государства. Решение проблемы неполноценного питания во всех его формах требует проведения комплексного междисциплинарного анализа.

Организация Объединенных Наций (ООН⁴) в Резолюции⁵ Генеральной Ассамблеи от 13 декабря 2018 г. призывает государства — члены ООН, куда входит и Россия с 24 октября 1945 г., укреплять меры, направленные на улучшение питания и повышение уровня жизни населения во всем мире, в качестве одного из ключевых элементов стратегий, нацеленных на ликвидацию всех форм неполноценного питания, а также на содействие устойчивому развитию.

В результате коллаборативной работы под эгидой ООН, ФАО, ВОЗ, Международного фонда сельскохозяйственного развития (International Fund for Agricultural Development, IFAD⁶), Детского фонда ООН (United Nations Children's Fund, UNICEF, ЮНИСЕФ⁷) был подготовлен Доклад о продовольственной безопасности и питании в мире⁸.

Многие десятилетия численность населения в мире только растет, увеличивается соответственно и потребность в продовольствии. Поэтому голод и нехватка продовольствия для здоровой и активной жизни по-прежнему остаются глобальной проблемой. Несмотря на все усилия международных организаций и правительств отдельных стран, в мире количество людей, испытывающих хроническое недоедание, с 2015 г. только возросло и достигло в 2018 г. 821 млн человек. Это девятая часть населения планеты. В дальнейшем эта проблема имеет тенденцию к усугублению, поскольку, согласно прогнозам ООН⁹, население Земли к 2050 г. возрастет до 9,2 млрд человек.

Вследствие неправильного питания глобальной проблемой остаются лишний вес и ожирение, которые продолжают возрастать как среди школьников, так и среди взрослого населения мира. В 2016 г. 131 млн детей возраста 5–9 лет, 207 млн подростков возраста 10–18 лет и 2 млрд взрослых

⁴ <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/food/>.

⁵ <https://undocs.org/ru/A/RES/73/132> «Здоровье населения мира и внешняя политика: улучшение здоровья населения мира посредством улучшения качества питания».

⁶ <https://www.ifad.org/en/>.

⁷ <https://www.unicef.org/>.

⁸ FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2019. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO.

⁹ <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>.

имеют лишний вес. Около $\frac{1}{3}$ взрослых и подростков с лишним весом и 44 % детей с лишним весом фактически страдают ожирением. Для России также актуальна глобальная проблема ожирения, поскольку, по данным ВОЗ¹⁰, у нас в стране страдают ожирением 24,9 % взрослого населения, в том числе 29,8 % женщин и 18,4 % мужчин. И это при том, что ежегодно в России, по данным ФАО¹¹, 5–10 % произведенного продовольствия теряются в связи с потерями и порчей (рис. 1.1).

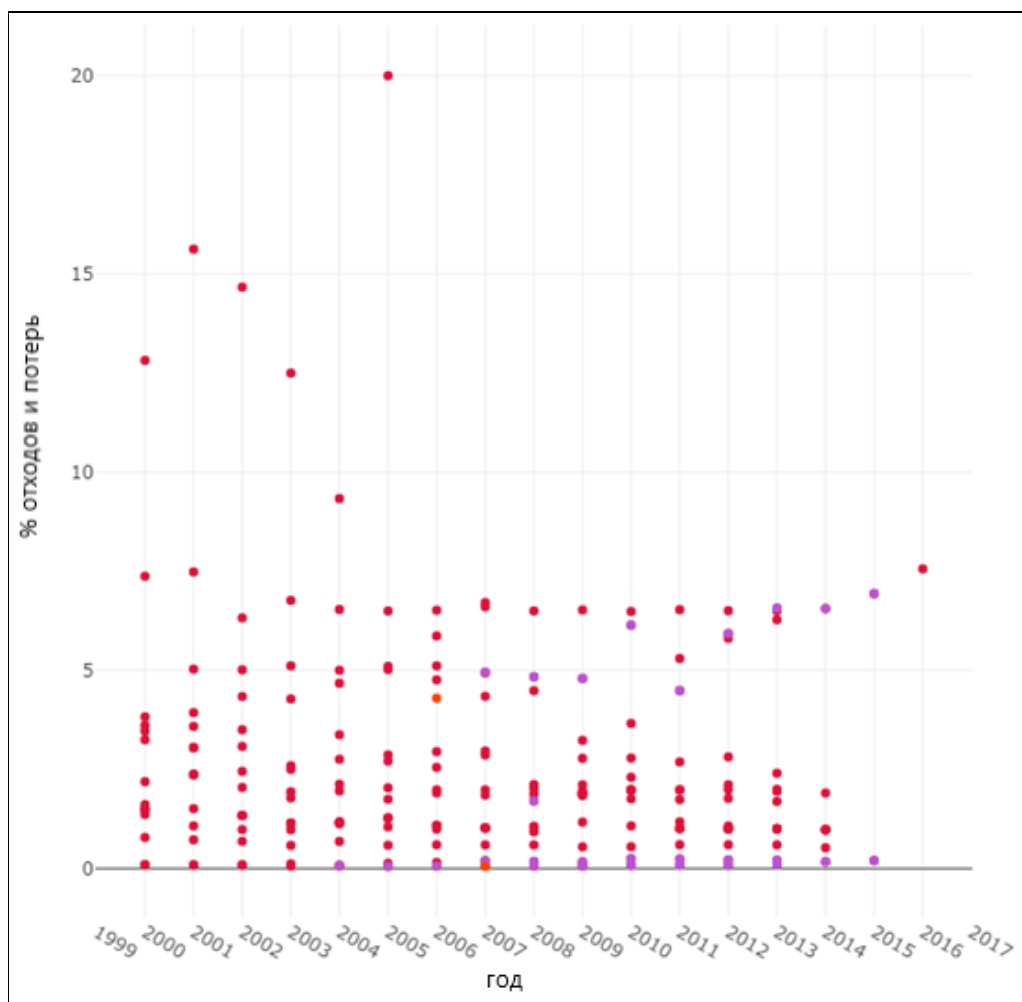


Рис. 1.1. Величина потерь и порчи продовольствия в Российской Федерации, по данным ФАО (отдельным точкам соответствуют различные виды продовольственного сырья и пищевых продуктов)

¹⁰ <https://urrl.ru/S3Ygjsx>.

¹¹ <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/flw-data/en/>.

В современном мире более 2 млрд людей страдают от дефицита микронутриентов, особенно витамина А, йода, железа, цинка и др. Во всех регионах быстро нарастают такие явления, как избыточный вес и ожирение среди детей и взрослых. Факторы риска, связанные с рационом питания на фоне недостаточной двигательной активности, вызывают 10 % случаев заболеваний и инвалидности¹².

В Римской Декларации по вопросам питания (ФАО, ВОЗ, ООН) обсуждаются многочисленные глобальные вызовы, связанные с неполноценным питанием, их причины и факторы, приводящие к появлению таких вызовов (рис. 1.2, 1.3).

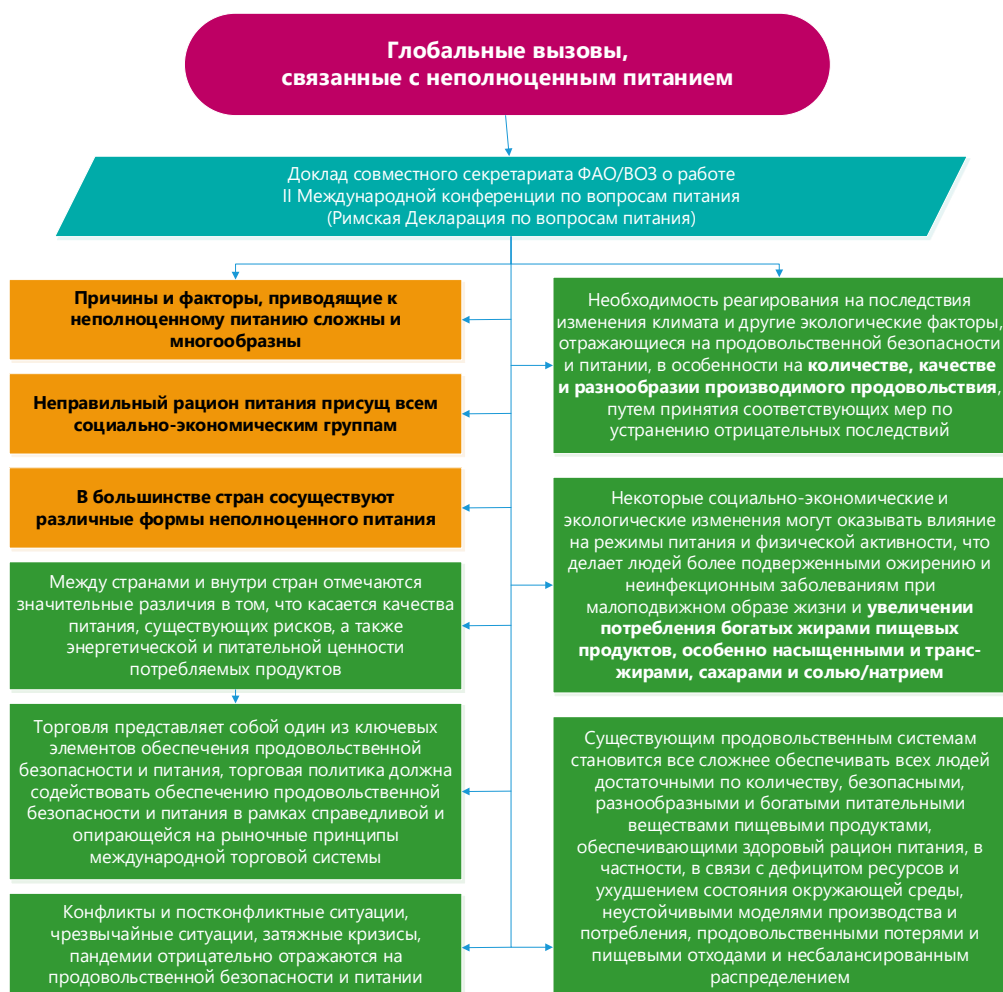


Рис. 1.2. Глобальные вызовы, связанные с неполноценным питанием

¹² <http://www.fao.org/3/a-i4436r.pdf>.



Рис. 1.3. Причины и факторы, приводящие к неполноценному питанию

Комитет по всемирной продовольственной безопасности ФАО планирует обсудить в 2020 г. новый проект рекомендаций по питанию. В частности, предлагается повышать питательную ценность продуктов путем постепенного изменения рецептуры, а также путем направленного обогащения пищевых продуктов.

Вопросы обеспечения здорового питания поставлены в «Политической декларации совещания высокого уровня Генеральной Ассамблеи ООН по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними» (A/RES/66/2, 24 января 2011 г.). Мировое сообщество констатирует отсутствие продовольственной безопасности в мире. В Декларации ООН, принятой на II Международной конференции по вопросам питания (Рим, 19–21 ноября 2014 г.), определены основные направления повышения качества питания (рис. 1.4) и возможные ответы на глобальные вызовы, связанные с неполноценным питанием (рис. 1.5).

ВОЗ был разработан глобальный план¹³ действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. Более 60 % случаев смерти в мире приходится на неинфекционные заболевания (диабет, онкология, болезни сердца, инсульт и др.). Одним из ключевых факторов риска преждевременной смертности людей в возрасте до 70 лет

¹³ <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-action-plan/ru/>

от неинфекционных заболеваний является нездоровое питание.



Рис. 1.4. Основные направления повышения качества питания в трактовке ООН

В целом отсутствие физической активности и нездоровое питание являются основными рисками для здоровья во всем мире. Для профилактики неинфекционных заболеваний ВОЗ предлагает следующие меры, способствующие здоровому режиму питания:

- 1) сократить содержание соли/натрия в качестве добавки к пищевым продуктам (приготовленным или обработанным);
- 2) повысить доступность продуктов, приемлемых по стоимости, и потребление фруктов и овощей;
- 3) сократить содержание насыщенных жирных кислот в продуктах питания, заменив их ненасыщенными жирными кислотами;
- 4) заменить трансжиры полиненасыщенными жирами;
- 5) сократить содержание свободных сахаров (все сахара, добавляемые в продукты или напитки производителем, поваром или потребителем, а также сахара, естественным образом присутствующие в меде, сиропах, фруктовых соках и их концентратах) или добавленных сахаров в продуктах питания и безалкогольных напитках;

- б) ограничить избыточную калорийность, сократить размеры порций и энергетическую ценность продуктов питания.



Рис. 1.5. Возможные международные стратегии ответа на глобальные вызовы, актуальные для Российской Федерации

ВОЗ призывает частный сектор там, где это возможно, рассмотреть вопрос о производстве продуктов питания, соответствующих требованиям

здорового питания, в том числе путем изменения их рецептур в целях производства более здоровых видов продуктов, которые недороги, доступны и соответствуют необходимым фактам в отношении питания и стандартам маркировки, включая информацию о содержании сахаров, соли и жиров и, где это необходимо, трансжиров, а также работать в направлении сокращения использования соли в пищевой промышленности с целью снижения потребления натрия.

Принципы здорового питания в трактовке ВОЗ описаны ниже.

Потребление энергии должно быть сбалансировано с ее расходом. Общее потребление жиров не должно превышать 30 % от общей потребляемой энергии¹⁴.

Насыщенные жирные кислоты должны составлять менее 10 %, а трансжиры — менее 1 % от общей потребляемой энергии, причем при потреблении жиров необходимо заменять насыщенные жиры и трансжиры ненасыщенными жирами и стремиться к исключению из рациона трансжиров промышленного производства¹⁵.

Сокращение потребления свободных сахаров до менее 10 % от общей потребляемой энергии является частью здорового питания, а сокращение их потребления до менее 5 % предположительно обеспечивает дополнительные преимущества для здоровья¹⁶.

Потребление соли на уровне менее 5 г в день способствует профилактике гипертонии и снижает риск развития болезней сердца и инсульта среди взрослого населения¹⁷. Глобальной целью является сокращение потребления соли на 30 % к 2025 г.

Конкретные компоненты здорового питания для взрослых людей приведены на рис. 1.6, а рекомендации ВОЗ по коррекции пищевого поведения — на рис. 1.7.

¹⁴ Fats and fatty acids in human nutrition: report of an expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper 91. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2010.

¹⁵ Guidelines: Saturated fatty acid and trans-fatty acid intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2018 (Draft issued for public consultation in May 2018).

¹⁶ Guideline: Sugars intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2015.

¹⁷ Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2012.

В России на государственном уровне принимаются активные меры по развитию производства безопасных, качественных, полноценных и сбалансированных по составу пищевых продуктов.

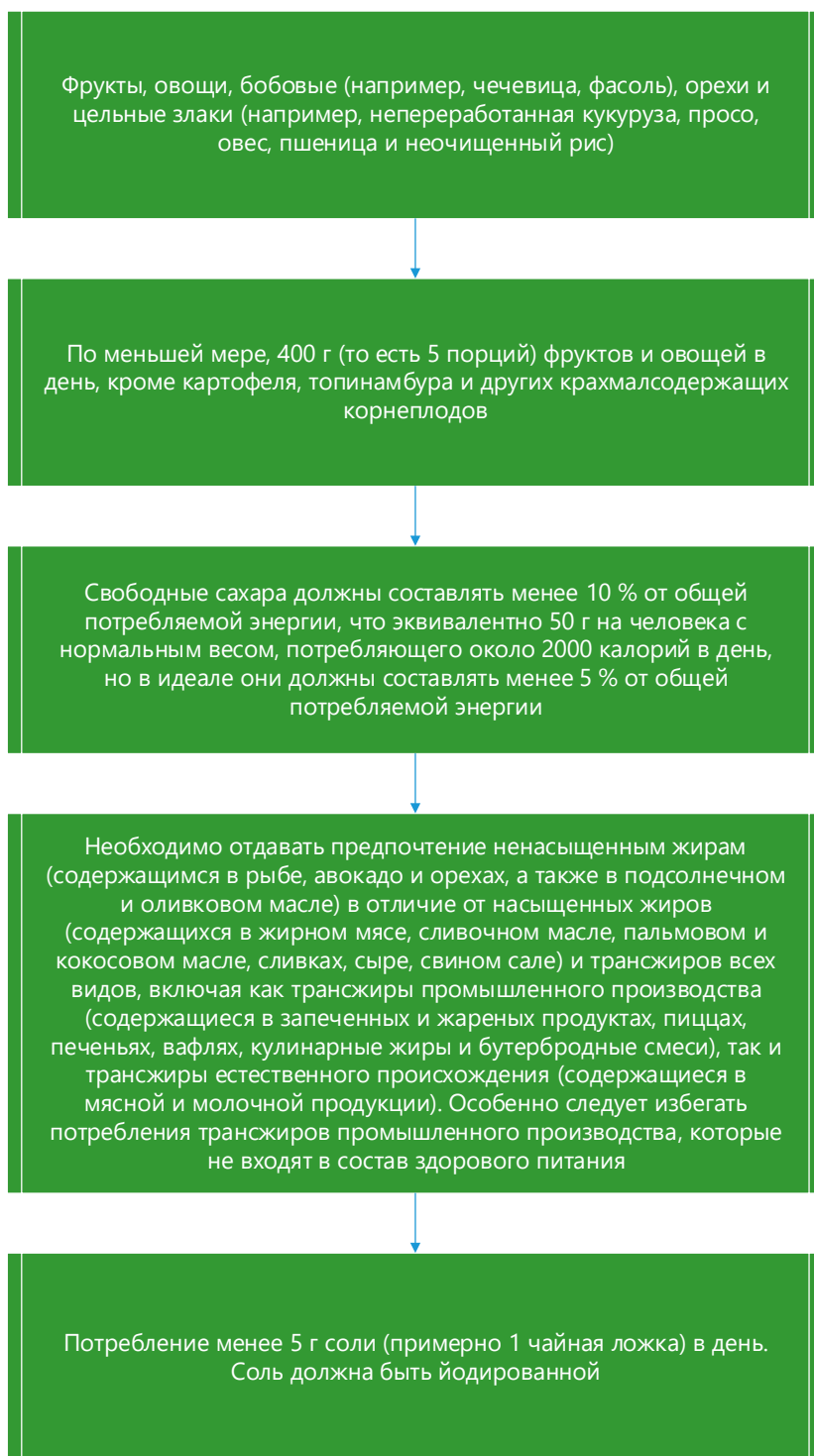


Рис. 1.6. Компоненты, которые должно включать здоровое питание, по версии ВОЗ

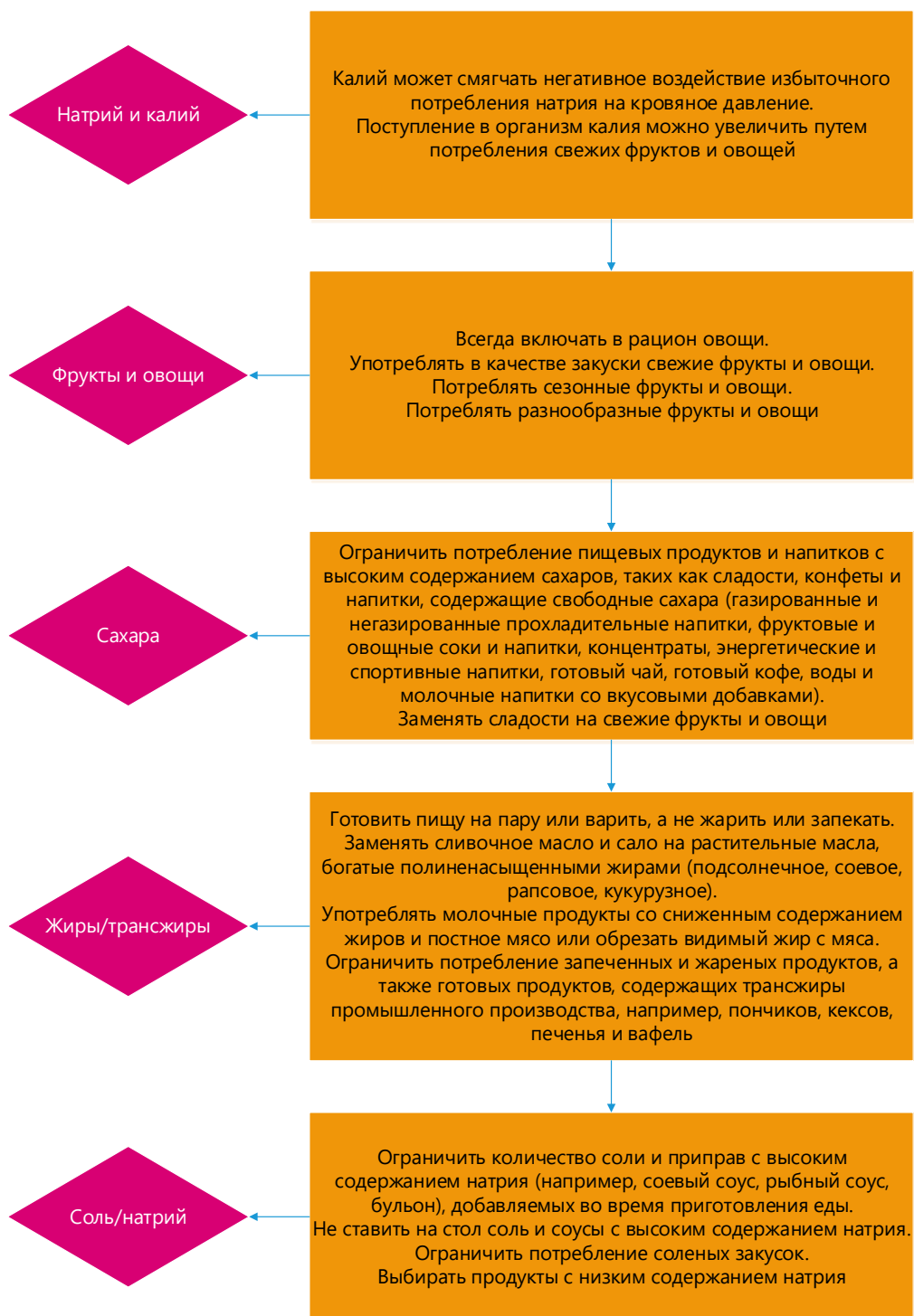


Рис. 1.7. Рекомендации ВОЗ по коррекции пищевого поведения

Принятая в России государственная политика в области здорового питания — это комплекс мероприятий, обеспечивающих удовлетворение потребностей различных групп населения в рациональном, здоровом питании с учетом их традиций, привычек, экономического положения и в соответствии с требованиями медицинской науки [164].

Политика в области здорового питания начала реализовываться еще в СССР, когда в 1939 г. впервые было проведено обогащение муки рядом витаминов, а в середине 1950-х гг. проводились целенаправленные мероприятия по профилактике дефицита йода для борьбы с эндемическим зобом, и тогда же были определены регионы, в которые должна поставляться йодированная соль. В 1951 г. Минздравом СССР были утверждены нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах, впоследствии в 1989 г. был разработан общий документ «Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов». Государственная политика в области здорового питания населения получила дальнейшее развитие после Римской конференции 1992 г., и начиная с 1995 г. на основе межведомственного взаимодействия и объединения усилий государства, науки и образования формируется единая государственная политика Российской Федерации в области здорового питания [144].

Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации определено, что продовольственная безопасность страны является необходимым условием реализации стратегического национального приоритета — повышение качества жизни российских граждан путем гарантирования высоких стандартов жизнеобеспечения. Одной из основных задач обеспечения продовольственной безопасности является достижение и поддержание физической и экономической доступности для каждого гражданина страны безопасных пищевых продуктов в объемах и ассортименте, которые соответствуют установленным рациональным нормам потребления пищевых продуктов, необходимых для активного и здорового образа жизни.

В соответствии с «Основами государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» целями государственной политики в области здорового питания являются сохранение и укрепление здоровья населения, профилактика заболеваний, обусловленных неполноценным и несбалансированным питанием (рис. 1.8).

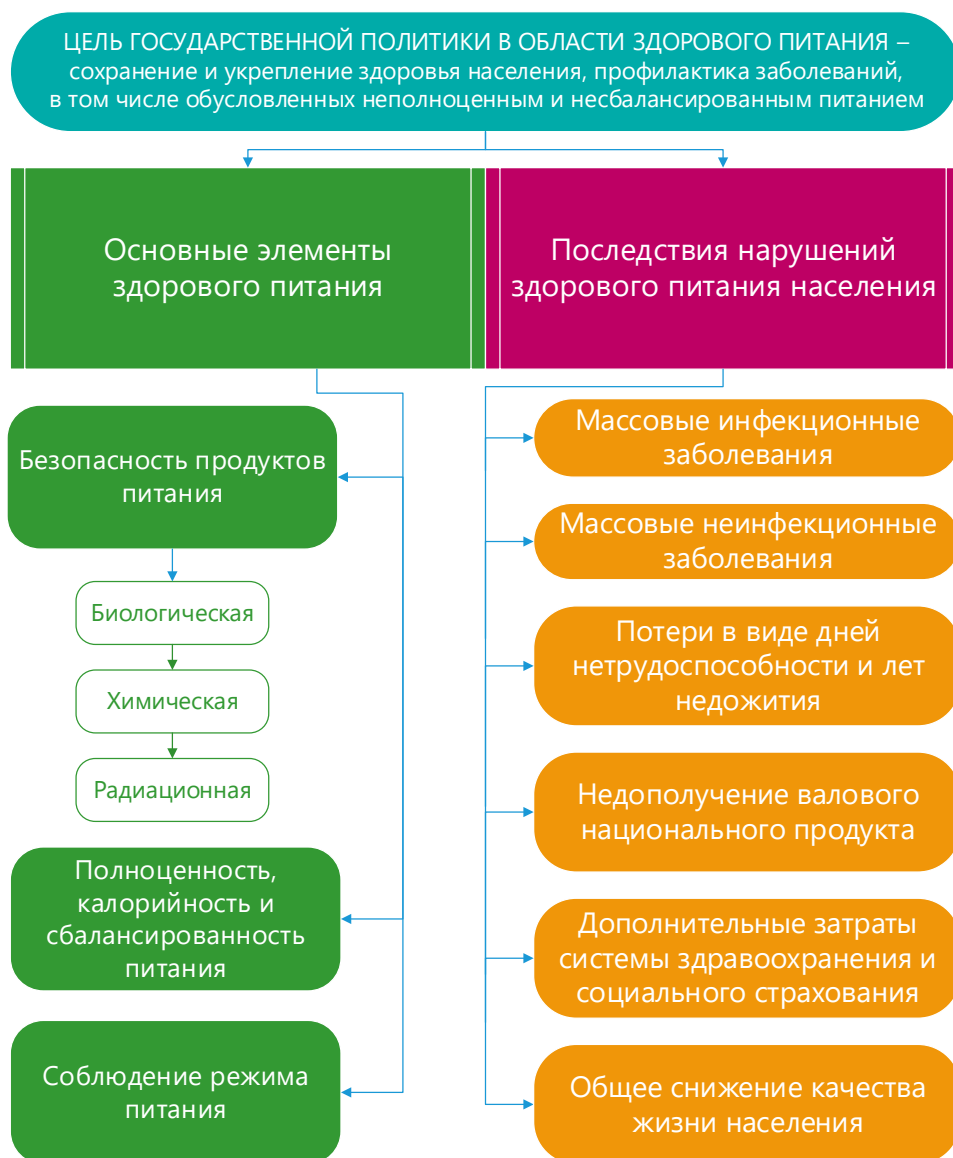


Рис. 1.8. Представления в соответствии с государственной политикой Российской Федерации в области здорового питания [139]

В Российской Федерации для контроля качества питания создана многоуровневая система постоянного мониторинга, которая включает наблюдение, обеспечивающее получение информации о доступности пищевых продуктов на основе баланса продовольственных ресурсов. В рамках плана мероприятий по реализации «Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» проводится оценка потребления пищевых продуктов, проводятся эпидемиологические исследования, основанные

на оценке фактического (индивидуального) питания с параллельным изучением пищевого статуса (обеспеченности организма пищевыми веществами и энергией) и основных показателей здоровья [144].

Ключевыми задачами государственной политики в области здорового питания являются разработка и внедрение в пищевую промышленность инновационных технологий, в том числе *цифровых*, а также развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, специализированных продуктов детского питания, продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов.

В рамках Государственной программы «Развитие здравоохранения», утвержденной постановлением Правительства РФ от 26 декабря 2017 г. № 1640, в стране действует федеральный проект «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек». Сроки реализации проекта — 2018–2024 гг. Одной из главных задач проекта является формирование среды, способствующей ведению гражданами здорового образа жизни, включая здоровое питание, в том числе ликвидацию микронутриентной недостаточности, дефицита йода, сокращение потребления соли и сахара. Успешная реализация федерального проекта позволит достичь целевых показателей национального проекта «Ожидаемая продолжительность здоровой жизни».

Разработаны Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (далее — Стратегия), утвержденная распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р, а также план мероприятий по реализации указанной Стратегии, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 19 апреля 2017 г. № 738-р. Стратегия направлена на обеспечение качества пищевой продукции и соблюдения прав потребителей на приобретение качественной продукции. Планом реализации Стратегии предусматривается выполнение ряда мероприятий (рис. 1.9).

Согласно мероприятию XI Стратегии (см. рис. 1.9) запланировано проведение исследований структуры питания различных групп населения в регионах Российской Федерации в целях выявления рисков здоровью, связанных со структурой питания и безопасностью пищевых продуктов, а также для обоснования норм потребления основных групп пищевых продуктов. Отчет о научно-исследовательских работах должны

подготовить Минобрнауки России, Минздрав России, Росстат и Роспотребнадзор.



Рис. 1.9. Мероприятия в сфере повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации

Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и приоритетных задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» определены девять национальных целей развития государства, в том числе ускоренное внедрение цифровых технологий в экономике и социальной сфере.

В соответствии с целью, поставленной Президентом РФ в отношении цифровизации, Стратегией предусмотрен ряд мероприятий (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Мероприятия, направленные на повышение уровня цифровизации в сфере повышения качества пищевой продукции

Согласно мероприятию VI Стратегии (см. рис. 1.9) запланированы задачи по повышению заинтересованности предпринимателей в производстве пищевой продукции для здорового питания, в том числе со сниженным содержанием жира, сахара и соли, специализированной, функциональной и обогащенной пищевой продукции, органической продукции. Мероприятия VII и VIII (см. рис. 1.9) ориентированы на совершенствование пищевых продуктов, а также возрождение производства в России пищевых ингредиентов для здорового питания (рис. 1.11).

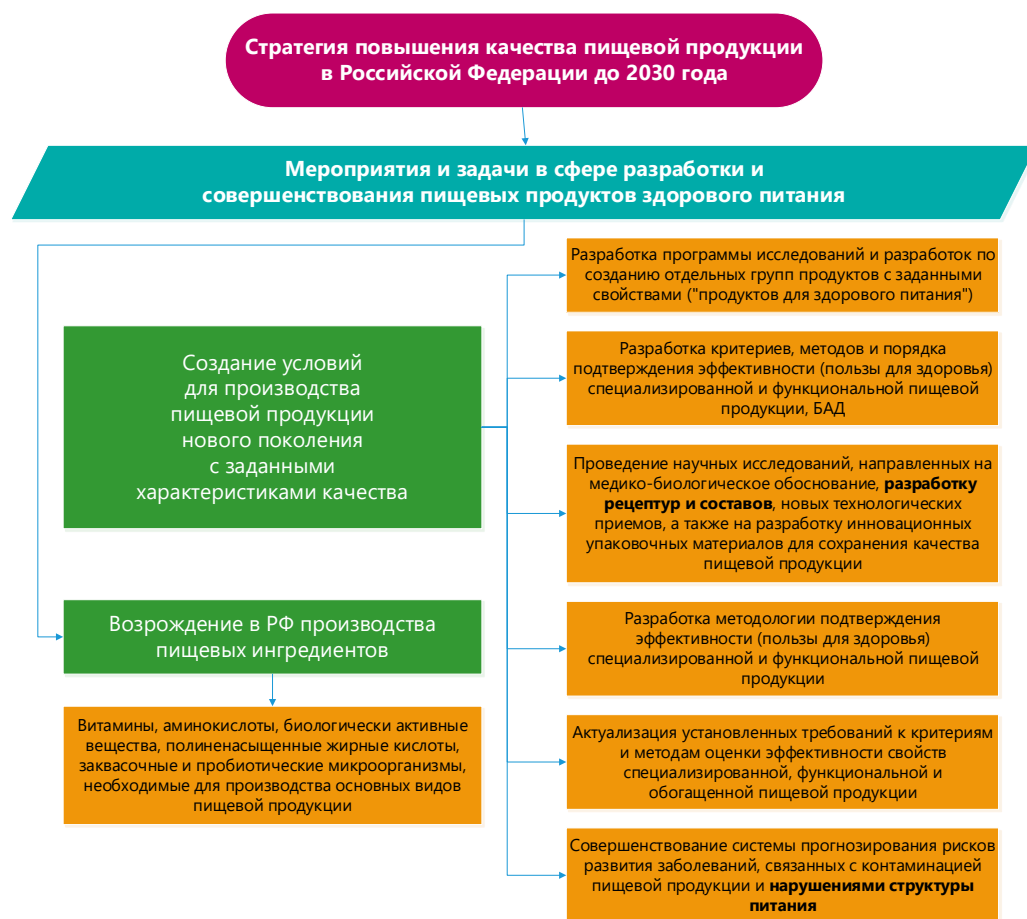


Рис. 1.11. Мероприятия, направленные на разработку и совершенствование пищевых продуктов и производство ингредиентов для здорового питания

Изложенные в Федеральном законе от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» (с изм. от 01.03.2020) принципы здорового питания направлены на укрепление здоровья человека и будущих поколений, снижение риска развития заболеваний (рис. 1.12).

В докладе о государственной политике России в области здорового питания [139], подготовленном Роспотребнадзором совместно с ФГБНУ «Научно-исследовательский институт питания», Минздравом, Минсельхозом, Минобрнауки и Минфином России, предложены направления работы по улучшению структуры питания различных групп населения (рис. 1.13).



Рис. 1.12. Принципы здорового питания согласно Федеральному закону «О качестве и безопасности пищевых продуктов»



Рис. 1.13. Возможные стратегические направления работы по улучшению структуры питания населения России [139]

Если несбалансированный рацион питания является одним из главных факторов риска целого ряда неинфекционных заболеваний, то систематическое употребление разнообразных продуктов, представляющих собой источники незаменимых пищевых веществ, может повысить качество рациона как фактора, поддерживающего здоровье.

Реализация государственной политики в области здорового питания постоянно трансформируется с учетом меняющейся социально-экономической ситуации. Проблемы качества и безопасности продуктов питания находятся под постоянным вниманием государства [144].

1.2. Тенденции и современное состояние структуры питания населения России. Возможности алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса

Полноценное питание составляет основу жизнедеятельности человека и является одним из важнейших факторов, способствующих снижению риска развития алиментарно-зависимой патологии, обеспечивающих активное долголетие, участвующих в формировании и реализации адаптационного потенциала организма [1, 3, 93, 96–100, 102, 103, 105, 108, 111, 112, 116, 148].

В ходе эволюции нутрициологии вопросы потенциально благотворного влияния питания на здоровье стали одной из самых актуальных и противоречивых тем. Состояние здоровья, в частности риск возникновения некоторых заболеваний, тесно связано с потребляемыми продуктами, которые в соответствии с концепциями адекватного и сбалансированного питания могут быть обогащены различными ингредиентами. Исследования взаимодействия между отдельными компонентами пищи и/или между различными ингредиентами блюда играют значительную роль и усиливают значение «пищевой синергии» (*food synergy*) как фундаментальной единицы — концепта, служащего для понимания взаимосвязи между питанием и здоровьем [55].

В большинстве стран мира несколько факторов риска обуславливают значительную долю всех случаев смертности и заболеваемости от хронических неинфекционных заболеваний. Особое место занимают факторы, связанные с нарушением питания [4–6, 10, 118–125, 128–130, 171]. В России смертность от хронических неинфекционных болезней, развитие которых в значительной степени связано с алиментарным фактором, остается значительно выше, чем в большинстве европейских стран [164].

Органами государственной статистики¹⁸ на регулярной основе (ежеквартально) проводится анализ уровня потребления продуктов питания населением на основе выборочного обследования домашних хозяйств по субъектам Федерации. В выборку входит 47,8 тыс. домашних хозяйств, и не включены коллективные хозяйства (больницы, дома-интернаты, школы-интернаты, монастыри, общины и т. п.).

Домохозяйство — это совокупность лиц, проживающих в одном жилом помещении или его части, как связанных, так и не связанных отношениями родства, совместно обеспечивающих себя всем необходимым для жизни, полностью или частично объединяя и расходуя свои средства.

Потребление продуктов питания исчисляется как сумма общего количества купленных в период обследования продуктов (за исключением отданных на корм скоту и домашним животным, переработанных для длительного хранения, купленных в запас, проданных или отданных), количества израсходованных на личное потребление продуктов, поступивших в домохозяйство без оплаты (в счет оплаты труда, в виде продукции собственного производства или от самозаготовок, в виде подарков и т. п.), а также объема потребленных в течение учетного периода продуктов, купленных до начала обследования.

Среднедушевое потребление основных продуктов питания определяется путем деления общего объема потребленных продуктов питания на число лиц, фактически присутствующих в домашнем хозяйстве.

Пищевая и энергетическая ценность потребленных продуктов питания рассчитывается с использованием нормативов, разработанных Институтом питания Российской академии медицинских наук.

Потребление основных групп продуктов питания населением Российской Федерации в динамике за 15 лет отражено на рис. 1.14 (подписи данных приведены к ряду «Все домашние хозяйства»).

Согласно данным Росстата, наблюдаются положительные тенденции: снизилось потребление хлебных продуктов и картофеля как в городской, так и в сельской местности, в то же время выросло потребление овощей, бахчевых, фруктов и ягод, мяса и мясопродуктов, яиц.

Потребление молока и молочных продуктов в последние несколько лет имеет тенденцию к снижению в городской местности и стагнацию

¹⁸ Федеральная служба государственной статистики, Росстат. <https://www.gks.ru/>.

в сельской. Потребление рыбы и рыбных продуктов хотя и возросло по сравнению с 2003 г., однако последние несколько лет эта величина не меняется и далека от рациональных норм. Стабильно высоким остается потребление сахара и кондитерских изделий, особенно среди населения с е л ь с к о й м е с т н о с т и .





Рис. 1.14 (начало). Динамика потребления основных продуктов питания, кг в год (по данным Росстата на 22.08.2019)





Рис. 1.14 (продолжение). Динамика потребления основных продуктов питания, кг в год (по данным Росстата на 22.08.2019)



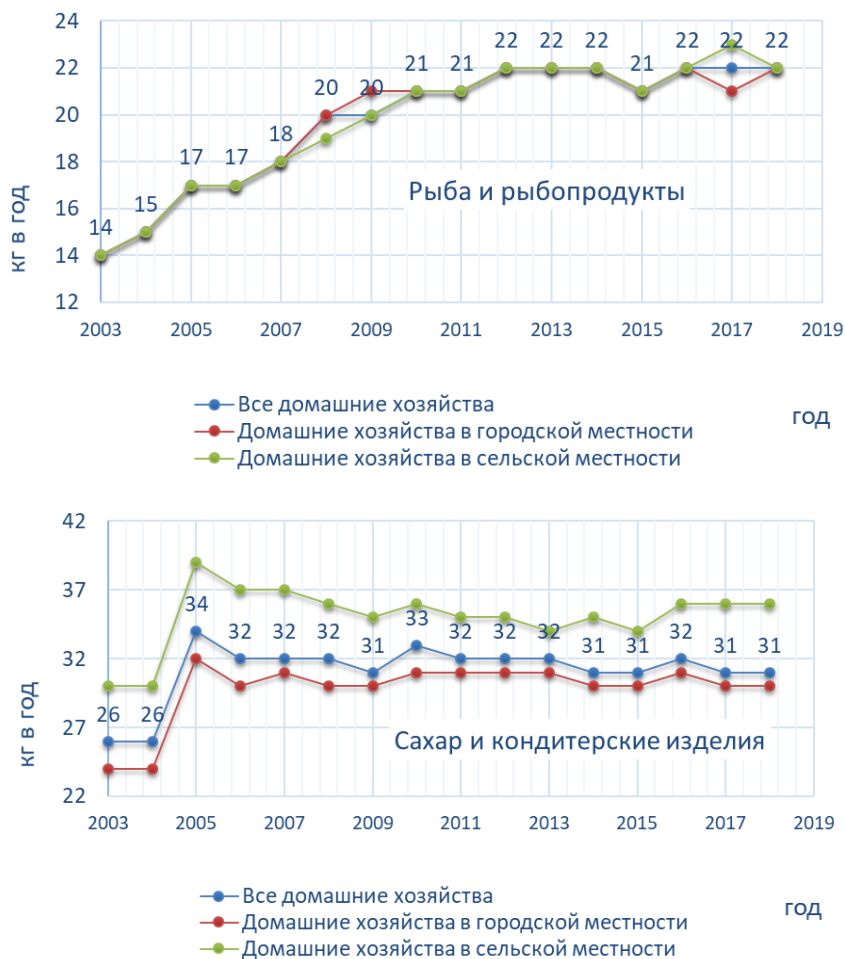


Рис. 1.14 (продолжение). Динамика потребления основных продуктов питания, кг в год (по данным Росстата на 22.08.2019)



Рис. 1.14 (окончание). Динамика потребления основных продуктов питания, кг в год (по данным Росстата на 22.08.2019)

Потребление растительного масла практически не меняется в течение 15 лет, при этом уровень потребления хлебных продуктов, сахара, масел и жиров выше в сельской местности. Потребление животных белков (мясо и мясные продукты, молоко и молочные продукты) в сельской местности отстает от средних величин и, соответственно, от потребления городскими жителями. Обобщенные данные приводят к выводу, что городское население питается более сбалансированно, чем сельское. При этом нельзя сказать, что сбалансированность питания линейно коррелирует с уровнем благосостояния (рис. 1.15).

Население Российской Федерации, располагающее наибольшими ресурсами, в целом потребляет больше продуктов по всем без исключения группам, по сравнению с населением, располагающим наименьшими ресурсами: по некоторым группам продуктов разрыв в объемах потребления практически в 2 раза — овощи и бахчевые, фрукты и ягоды, мясо и мясопродукты, молоко и молочные продукты, рыба и рыбные продукты. Эта тенденция касается как условно полезных продуктов (фрукты, ягоды, овощи, рыба, молочные продукты и мясо), так и условно вредных (жиры, сахар, кондитерские изделия, хлебные продукты). Таким образом, здоровый рацион больше связан с культурой правильного питания, чем с финансовыми ресурсами потребителя.

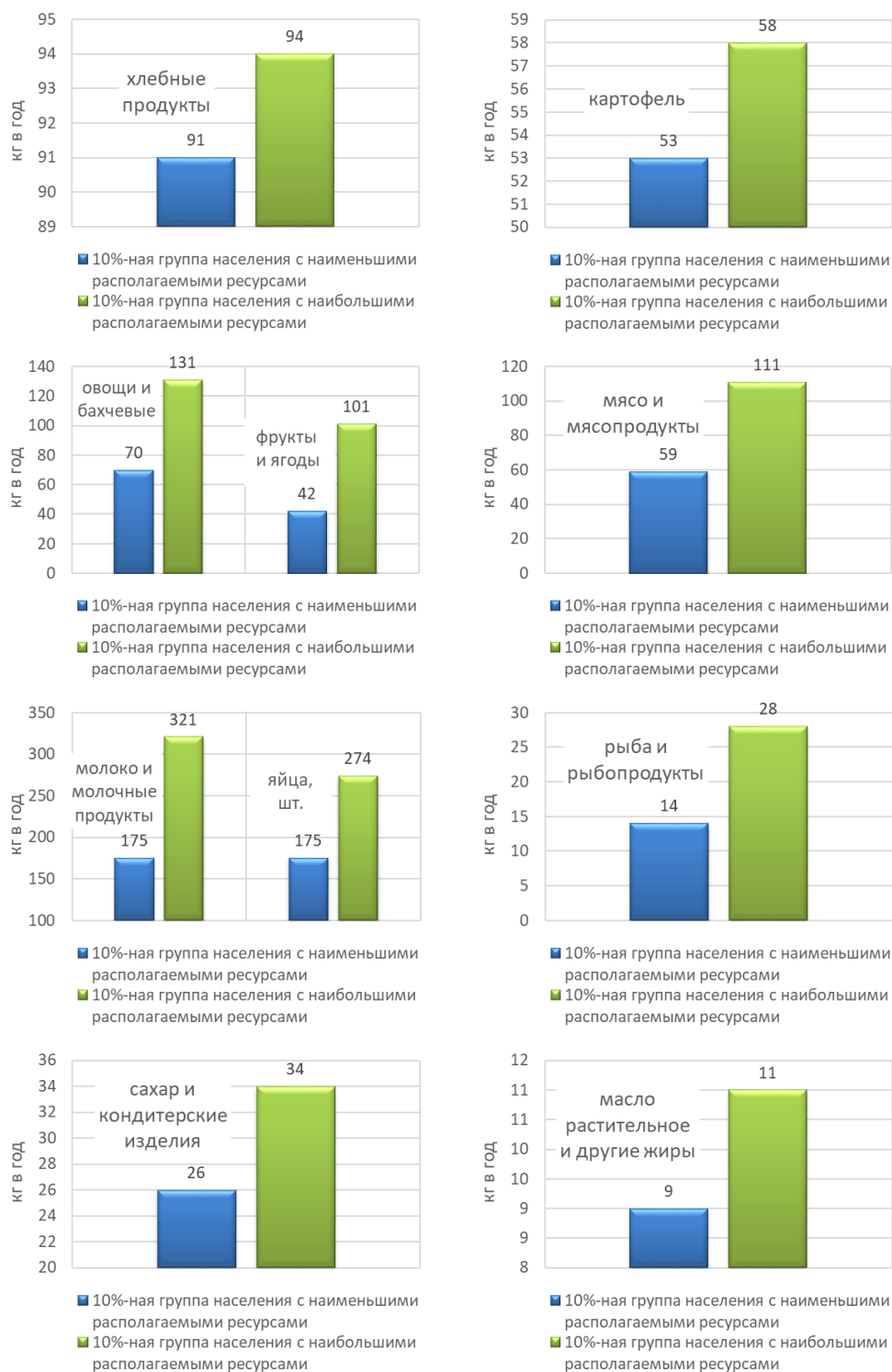


Рис. 1.15. Потребление продуктов питания в среднем на члена домашнего хозяйства в зависимости от уровня благосостояния (данные Росстата за 2018 г.)

Между благосостоянием населения и пищевой ценностью суточного рациона все же наблюдается определенная корреляция (рис. 1.16).

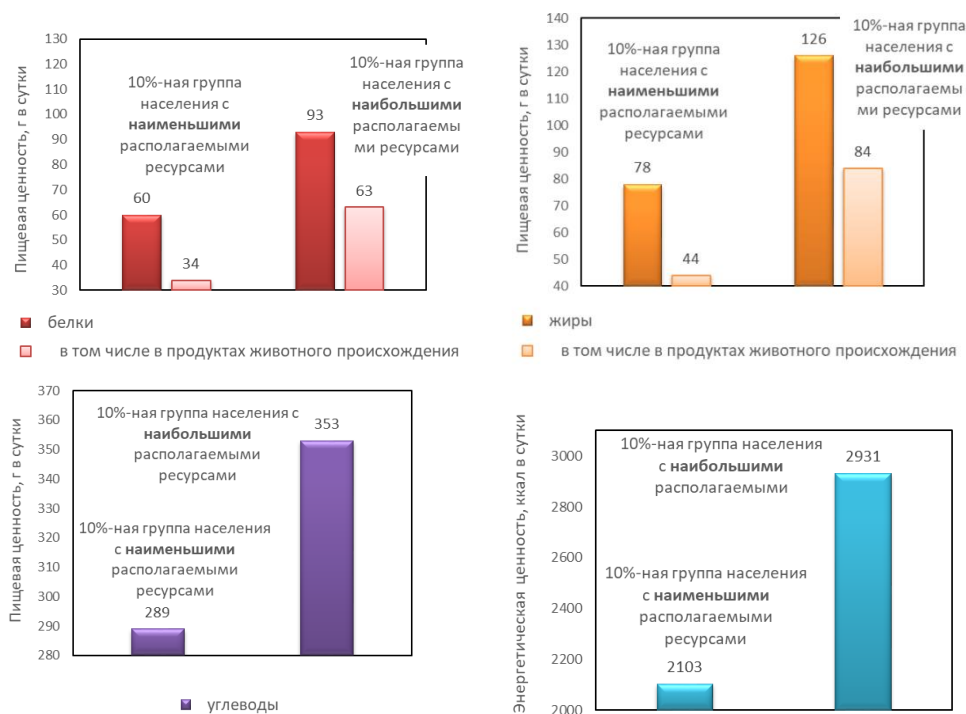


Рис. 1.16. Пищевая и энергетическая ценность продуктов питания в среднем на члена домашнего хозяйства в зависимости от уровня благосостояния (данные Росстата за 2018 г.)

Группа населения с наименьшими располагаемыми ресурсами потребляет меньше белка в сутки, и практически половина этого белка — из продуктов растительного происхождения, в то время как группа населения с наибольшими располагаемыми ресурсами употребляет на 50 % больше белка в сутки, и $\frac{2}{3}$ этого количества белка поступают в организм за счет продуктов животного происхождения. Группа населения с высоким уровнем благосостояния практически в 2 раза больше потребляет жиров из продуктов животного происхождения, чем группа населения с минимальным благосостоянием, которая в основном потребляет жиры растительного происхождения и масла. В целом группа населения с наибольшими располагаемыми ресурсами потребляет в течение суток существенно больше белков, жиров, углеводов, чем группа с низким благосостоянием, соответственно и суточная энергетическая ценность рациона этой группы потребителей выше практически на треть.

Нарушение структуры питания населения приводит к изменениям пищевого статуса, что становится причиной развития неинфекционных заболеваний, составляющих более половины причин смерти населения страны. Доказано, что вклад питания в развитие болезней сердечно-сосудистой системы, диабета, остеопороза, ожирения, некоторых форм злокачественных новообразований составляет от 30 до 50 %. Установлена закономерность влияния несбалансированного питания населения на распространенность заболеваемости новообразованиями, сахарным диабетом, гипертензивной болезнью с преимущественным поражением сердца, ишемической болезнью сердца, язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки и целым рядом других. Оптимальное питание, в свою очередь, способствует профилактике целого ряда заболеваний [14, 15, 18, 19, 23, 187].

Оценка структуры питания, влияния его на здоровье населения — одно из приоритетных направлений деятельности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора), которая на регулярной основе проводит такой мониторинг, анализируя состояние питания населения и его взаимосвязь с заболеваемостью [183, 184]. В данной главе проведен анализ структуры питания населения на основе данных государственных докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации, подготовленных Роспотребнадзором и Федеральным центром гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

По данным государственных докладов Роспотребнадзора 2018–2019 гг., по степени влияния на показатели состояния здоровья населения в Российской Федерации факторы образа жизни в порядке значимости располагаются следующим образом: несбалансированное питание, употребление алкоголя, табакокурение.

Крупномасштабные исследования состояния фактического питания и здоровья населения в различных регионах России позволили определить структуру нарушений пищевого статуса, среди них — избыточное потребление углеводов и жиров, особенно животных, дефицит полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, минеральных веществ, микроэлементов, пищевых волокон (рис. 1.17).



Рис. 1.17. Основные нарушения структуры питания взрослого населения Российской Федерации [139]

Результаты исследований состояния питания различных групп взрослого населения в 1994–2012 гг. свидетельствуют о росте потребления жира (свыше 35 % по калорийности), при этом значительная его часть поступает с животными продуктами. При расчете уровней потребления большинства витаминов было показано, что средние величины их поступления с рационом питания обеспечивают 65–80 % потребностей организма. Аналогичные величины характерны и для потребления кальция среди всего населения и железа среди женщин. Свыше 30 % взрослого населения страдают остеопорозом, главная причина развития которого

связана с недостатком кальция в составе рациона питания из-за недостаточного потребления молока и молочных продуктов. Недостаточное потребление железа является основной причиной распространенности анемий среди беременных. По данным Минздрава России, до 70 % населения страны испытывают дефицит йода.

В ФГБНУ «Научно-исследовательский институт питания» создан центр «Здоровое питание», где было обследовано более 4 000 человек. При анализе фактического питания у большинства обследованных было выявлено избыточное потребление холестерина, насыщенных жирных кислот на фоне недостаточного содержания в рационе полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3, пищевых волокон, витаминов А, В₁, В₂, РР, кальция и магния. Повышенная калорийность рациона относительно суточных энерготрат связана с избыточным потреблением общего и насыщенного жира. В рационе отмечалось избыточное содержание добавленного сахара, натрия, и недостаточное — пищевых волокон (в 2,5 раза) и витаминов группы В [139].

Усредненные за три года данные о потреблении белка населением России, согласно информации ФАО, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Потребление белка в Российской Федерации.
Источник — база данных FAOSTAT¹⁹

3-летний период	Среднедушевое потребление белка, г/сут.	В том числе белка животного происхождения, г/сут.
1999–2001	85,70	41,00
2000–2002	86,30	42,00
2001–2003	88,00	43,00
2002–2004	89,30	44,00
2003–2005	91,30	45,00
2004–2006	93,00	46,00
2005–2007	95,70	49,00
2006–2008	97,30	50,00
2007–2009	98,70	52,00
2008–2010	99,30	53,00
2009–2011	100,00	54,00
2010–2012	101,30	55,00

¹⁹ <http://data.un.org/>.

3-летний период	Среднедушевое потребление белка, г/сут.	В том числе белка животного происхождения, г/сут.
2011–2013	102,00	55,00

Результаты многолетних исследований состояния питания и здоровья взрослого и детского населения различных регионов России начиная с конца XX в. и по настоящее время (В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев, Б. П. Суханов, В. М. Позняковский, Л. Н. Шатнюк) свидетельствуют о недостаточном потреблении витаминов и минеральных веществ [171]. Такое состояние фактического питания населения является фактором риска развития алиментарно-зависимых заболеваний, что подтверждается данными многолетнего мониторинга Роспотребнадзора.

Мониторинг состояния питания населения России в 2004 г. показал, что оно характеризуется негативными тенденциями. Так, в Липецкой области при дефиците потребления полноценных животных белков и растительных жиров отмечен избыток потребления углеводов. В Волгоградской области дефицит полноценных белков по всем группам населения — более 40 %. В Астраханской и Камчатской областях на протяжении пяти лет снижается потребление молока и других продуктов, являющихся источником полноценного белка. В Новосибирской области фактическое потребление по молоку ниже физиологических норм на 27 %. В Республике Саха также сохраняется тенденция к снижению потребления молока, а питание носит выраженный липидно-углеводный характер, как и в Приморском крае. В Республике Тыва и Новосибирской области в структуре питания населения преобладает углеводный компонент. В Алтайском крае нерациональное питание обусловлено избыточным потреблением жиров, недостатком витаминов, микронутриентов. Аналогичное положение с состоянием питания наблюдается во всех федеральных округах России. Уменьшение потребления молока и молокопродуктов отмечается в Южном, Приволжском, Уральском, Сибирском и Дальневосточном округах.

В 2005 и 2006 гг. состояние питания в России практически не изменилось. Имеет место углеводистая модель питания при недостатке белков животного происхождения. Питание населения продолжает характеризоваться недостаточным потреблением молочных продуктов.

В 2007 г. характер питания населения России по-прежнему расценивается как несбалансированный по белкам, жирам и углеводам.

Во Владимирской области расчетное потребление молочных продуктов среднестатистическим жителем составило всего 57,1 %. В Липецкой области также отмечается дефицит потребления полноценных животных белков; значителен дефицит потребления молока и молочных продуктов — 37,3 %. В Вологодской области недостаточно потребление молока и молочных продуктов, особенно острой проблемой является дефицит витаминов и микронутриентов. Фактическое питание населения Республики Башкортостан характеризуется смещением в сторону углеводно-липидного обмена (до 12 %). Уровень потребления биологически полноценных продуктов населением Иркутской области становится сопоставимым с уровнем 1986 г., за исключением молока и молочных продуктов (ниже на 38,9 %). Общая тенденция питания населения Российской Федерации — недостаточное потребление молочных продуктов, мяса и мясопродуктов с преобладанием крупяных, макаронных и хлебобулочных изделий.

В 2008 г. характер питания населения также можно расценить как несбалансированный. Содержание белка в рационах питания жителей Хабаровского края ниже рекомендуемого уровня на 15–20 %. В питании населения Ленинградской области преобладает углеводная пища, значительное место в структуре питания занимают хлеб и хлебобулочные изделия (22 %). В Орловской области потребление молока и молочных продуктов ниже рекомендуемого уровня на 47 %. Структура питания населения характеризуется пониженным потреблением биологически ценных продуктов питания и потреблением относительно большого количества жиров.

Данные за 2008–2012 гг. показали положительную динамику среднедушевого потребления молочных продуктов, яиц, овощей и мясных продуктов. При этом выявлены большие различия в величинах потребления населением пищевых продуктов по субъектам Федерации. Так, «средневзвешенное отклонение от нормы потребления по 10 основным группам продуктов питания» колеблется от 9,6 % в г. Санкт-Петербурге до 43,8 % в Республике Тыва.

В 2012 г. выявлено, что удельный вес населения субъектов Федерации, в которых потребление овощей, фруктов, молочных, мясных и рыбных продуктов ниже минимального рекомендованного объема, составляет 77,9; 66,3; 68,1; 43,3; 68,5 % соответственно. Таким образом, 74,6 % населения Российской Федерации недостаточно используют

в питании продукты, являющиеся поставщиками белка, углеводов, клетчатки, витаминов и микроэлементов (табл. 1.2). В 55 субъектах Федерации, где проживает 99,1 % населения, в рационах питания жителей отмечается дефицит белка. Удельный вес населения Российской Федерации, использующего в рационах питания картофель, хлебобулочные и макаронные изделия, сахар в количествах выше рекомендованных рациональных норм потребления, составляет 58,1; 83,3; 100 % соответственно. Проблема в питании населения — это избыточное потребление жира, от которого страдает 87,3 % населения. В среднем доля населения, питающегося избыточно, составляет 46,3 %.

В 2013 г. уровень потребления макронутриентов населением свидетельствует о несбалансированном питании с тенденцией увеличения потребления продуктов, содержащих насыщенные жиры, и снижения потребления сложных углеводов. В рационе питания населения выявлен избыток жира на 15,7 %, углеводов — на 15,2 %, а также дефицит белка — на 0,5 %. Избыточное потребление жира наблюдается у 95,1 % населения Российской Федерации. Отмечено низкое потребление овощей и фруктов.

Таблица 1.2

Доля населения Российской Федерации, в рационах питания которого отмечены отклонения от рекомендуемой нормы по основным группам питания (2012 г.²⁰)

Группа продуктов	Удельный вес населения, потребляющего продукты питания ниже минимальной границы нормы, %	Удельный вес населения, потребляющего продукты питания выше максимальной границы нормы, %
Хлебобулочные и макаронные изделия, мука, крупы, бобовые	4,1	83,3
Картофель	36,7	58,1
Овощи и бахчевые	77,9	2,7
Фрукты и ягоды	96,3	0,0
Мясо и мясопродукты, в том числе птица	43,3	35,7

²⁰ В дальнейшие годы в государственных докладах Роспотребнадзора аналогичные данные в полном объеме отсутствуют.

Рыба и рыбопродукты	68,5	20,2
Молоко и молочные продукты	92,0	4,5
Яйца, шт.	37,9	62,1
Сахар	0,0	100,0
Масло растительное	10,0	69,2

По данным на 2014 г., несмотря на положительную динамику в потреблении населением отдельных видов пищевых продуктов, питание остается несбалансированным. Установлен избыток в потреблении сахара и кондитерских изделий при недостатке в питании таких биологически ценных продуктов, как овощи, фрукты, молоко, яйца. По сравнению с 2013 г., в 2014 г. доля населения, которая стала использовать в своем питании больше мясных продуктов и сахара, увеличилась более чем на 2 %, а количество населения, которое недостаточно использует в питании яйца, овощи, молочные продукты, фрукты, составляет более 90 %, что увеличивает риск для здоровья населения, связанный с несбалансированным питанием. Население большинства субъектов Федерации, независимо от покупательной способности, имеет дефицит в потреблении яиц, овощей и молочных продуктов. У более чем 80,0 % населения страны сохраняется дефицит потребления белка и избыточное потребление жира (95,3 %). Низкий уровень потребления углеводов в рационах питания населения большинства субъектов Федерации (96,0 %) обусловлен прежде всего недостаточным использованием в питании овощей и фруктов.

В 2015 г. питание населения остается несбалансированным. Отмечается высокая доля населения, потребляющего продукты питания ниже минимальной границы нормы: у 99,6 % населения дефицит потребления молочных продуктов, у 97,7 % — фруктов, у 93,4 % — овощей, у 87,5 % — яиц. По результатам анализа макронутриентной обеспеченности рационов питания населения, по сравнению со средними рекомендуемыми нормами потребления, выявлен избыток жира на 15 %, дефицит белка — на 12 % и углеводов — на 16 %.

Анализ среднедушевого потребления продуктов питания населением Российской Федерации показал, что в 2016 г. отмечается незначительный рост потребления основных групп продуктов: овощей и бахчевых — больше на 5,2 %, яиц — на 4,8 %, картофеля — на 4 %, а мяса — на 3,7 %.

При этом данные Росстата и Роспотребнадзора довольно сильно отличаются, например, по потреблению картофеля — практически в 2 раза (табл. 1.3).

В понятии нормы Роспотребнадзор (см. табл. 1.3) ориентируется на «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания», утвержденные приказом от 2 августа 2010 г. № 593н.

Таблица 1.3

Динамика среднедушевого потребления основных продуктов питания по Российской Федерации, кг, чел. в год²¹

Группа продуктов	Норма ²²	1990	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2015, Роспотребнадзор	2016	2016, Роспотребнадзор
Картофель	97,5	106	109	104	110	111	111	111	112	58	113	60
Овощи и бахчевые культуры	125	89	79	101	106	109	109	111	111	100	112	105
Фрукты и ягоды	95	35	32	58	60	61	64	64	61	71	62	73
Мясо и мясопродукты	72,5	75	45	69	71	74	75	74	73	85	74	88
Рыба и рыбопродукты	20									21		22
Молоко и молочные продукты	330	387	215	247	246	249	248	244	239	266	236	273
Яйца, шт.	260	297	229	269	271	276	269	269	269	218	273	229
Сахар	26	47	35	39	40	40	40	40	39	31	39	32
Масло растительное	12	10,2	9,9	13,4	13,5	13,7	13,7	13,8	13,6	11	13,7	11
Хлебные продукты	100	120	117	120	119	119	118	118	118	95	117	99

²¹ Центральная база статистических данных [Электронный ресурс] // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/#1> (дата обращения: 26.09.2017).

²² О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. 268 с.

При анализе макронутриентной обеспеченности рационов питания населения Российской Федерации в 2017 г. выявлен избыток жира на 15,3 %, дефицит белка — на 11,5 % и углеводов — на 18,2 % по сравнению со средними рекомендуемыми нормами. Более 90 % населения Российской Федерации использует в своем рационе избыточное количество простых углеводов, что может способствовать развитию ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, новообразований и сахарного диабета.

По данным 2017 г., отклонение от норм питания в большей степени характерно для населения, проживающего в Северо-Кавказском, Северо-Западном, Уральском и Дальневосточном федеральных округах (рис. 1.18).

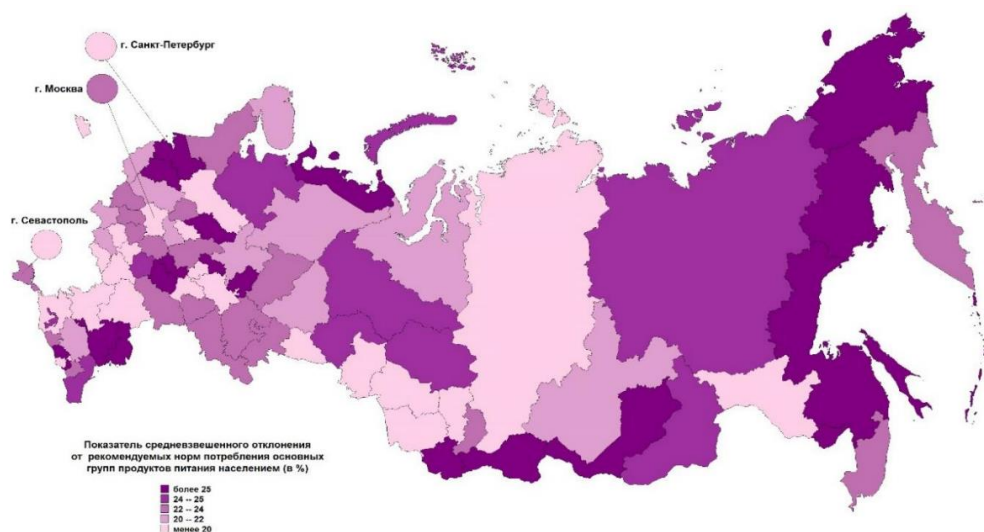


Рис. 1.18. Распределение субъектов Федерации по показателю отклонения от рекомендуемых норм питания населения, 2017 г. [187]

В 2018 г. продолжает отмечаться рост потребления пищевых продуктов с высокой энергетической ценностью и высоким содержанием жира при снижении физической активности населения, что способствует развитию целого ряда неинфекционных заболеваний.

По результатам анализа за 2018 г. среднедушевого потребления пищевых продуктов населением Российской Федерации, отмечается незначительное снижение потребления овощей на 3 кг/год/чел., хлеба и хлебобулочных изделий — на 2 кг/год/чел., а также молочных продуктов

— на 7 л/год на душу населения. По остальным группам пищевых продуктов уровень потребления не изменился.

Выявлено, что 100 % населения недоедает до нормы молочных продуктов, 99,1 % населения недостаточно использует в питании овощей, 97,3 % — фруктов, 83,1 % — растительного масла. В домашних хозяйствах городской местности потребление фруктов, яиц, молочных и мясных продуктов выше, чем в хозяйствах сельской местности, на 11,8; 3,1; 2,7 и 5,8 % соответственно.

Проведенный органами Роспотребнадзора анализ показывает имеющие место общие для подавляющего большинства регионов проблемы, связанные с недостаточным поступлением с пищей в организм человека жизненно важных макро- и микроэлементов и избыточным — простых углеводов.

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы²³, Департамента мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации, число заболеваний россиян, связанных с микронутриентной недостаточностью, за последние годы в России имеет стабильную тенденцию к увеличению (рис. 1.19).

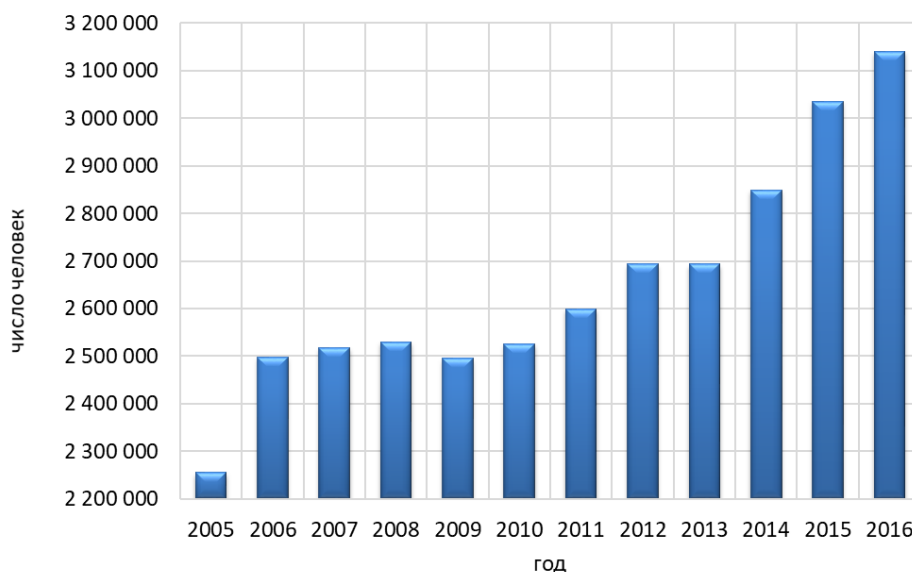


Рис. 1.19. Динамика числа заболеваний россиян, связанных с микронутриентной недостаточностью (по данным Росстата)

²³ <https://www.fedstat.ru/>.

Даже идеально составленный рацион для взрослого человека, рассчитанный на 2 500 ккал в день, дефицитен по большинству витаминов, по крайней мере, на 20 % [152].

Для населения России характерно сниженное относительно рекомендуемых норм здорового питания потребление молочных продуктов, свежих фруктов и овощей. Для лиц трудоспособного возраста характерно избыточное потребление жира — свыше 40 % от общей калорийности рациона и добавленного сахара — более 120 г/сут. Потребление поваренной соли в 2,5–3 раза превышает рекомендуемый уровень, причем в основном за счет продуктов промышленного производства. В рационе российских жителей на фоне природного йододефицита отмечается недостаточное содержание большинства витаминов группы В, D, кальция и ряда микроэлементов [152].

Московским ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» совместно с ФБУН «Нижегородский НИИ гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, НИИ гигиены и экологии человека ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова», ГАУЗ «Республиканский клинический противотуберкулезный диспансер» Минздрава Республики Татарстан проведена большая экспериментальная и аналитическая работа по анализу витаминной обеспеченности российского населения за 30 лет (1987–2017 гг.). Для этого были проанализированы результаты исследований обеспеченности витаминами С, А, Е, В₂, В₆ мужчин и женщин трудоспособного возраста (около 1 200 человек) из различных регионов (Москва, Екатеринбург, Нижний Новгород, Самара, Архангельск, Рязань, Казань, Республика Саха) по распределению частот недостаточности того или иного витамина. За 1987–1993 гг. были проанализированы результаты восьми обследований, за 1996–2001 гг. — семь обследований, за 2003–2009 гг. — 22 обследования, за 2015–2017 гг. — 16 обследований. Установлено, что дефицит витамина С практически перестал встречаться. Отмечена достаточно редкая встречаемость недостатка витаминов Е и А. Дефицит витамина В₂ обнаруживается у значительного количества обследованных (диапазон 25–75-й перцентиль находится на уровне 30–50 %). Авторы связывают дефицит витамина В₂ с недостаточным

потреблением населением России молочных продуктов. Недостаток витаминов группы В у взрослого населения по-прежнему имеет место значительно чаще, чем недостаточность витаминов А, Е и С. Частота выявления сочетанного дефицита трех витаминов и более (включая помимо витаминов С, А, Е, В₂ и β-каротина также витамины D, В₆, В₁₂, фолаты) в настоящее время колеблется в диапазоне от 5 до 39 %. В этих же пределах находится частота обнаружения лиц, обеспеченных всеми витаминами. В среднем обеспечены всеми витаминами 14 % взрослых; полигиповитаминоз имели 22 % обследованных. В целом на фоне существующей в той или иной мере недостаточности витамина D частота полигиповитаминозов не претерпела принципиальных изменений по сравнению с предыдущим десятилетием. Для решения проблем витаминной недостаточности авторы рекомендуют обогащение пищевых продуктов массового потребления (хлеба и молока) витаминами D и группы В, дефицит которых наиболее часто обнаруживается у населения России [150].

В России доля лиц, обеспеченных всеми витаминами, обычно не превышает 5–10 %. Большая часть больных и пострадавших, поступающих в стационары, имеет существенные нарушения пищевого статуса: почти у 90 % из них отмечаются признаки гиповитаминоза [151]. Нарушения структуры питания российского населения приводят к увеличению роста и распространенности алиментарно-зависимой патологии (атеросклероз, артериальная гипертензия, гиперлиппротеинемия, сахарный диабет 2-го типа, ожирение, остеопороз, подагра, желчнокаменная болезнь, железодефицитная анемия), занимающей ведущее место в структуре заболеваемости и смертности. Результатом таких нарушений структуры питания является снижение качества жизни [148].

Согласно данным профессора В. М. Коденцовой, причинами гиповитаминоза являются: недостаточное поступление витаминов с пищей из-за уменьшения общего количества потребляемой пищи вследствие снижения энерготрат, потребления рафинированных высококалорийных, но бедных витаминами продуктов, разрушения витаминов при технологической обработке и хранении пищевых продуктов, нерационального питания, в том числе несбалансированных диет (табл. 1.4); низкая биодоступность витаминов в продуктах; нарушение ассимиляции витаминов; повышенная потребность в витаминах. По ее

мнению, в России к причинам гиповитаминозов добавляются низкое потребление населением овощей и фруктов, низкое качество продуктов, низкие доходы населения, отсутствие государственной системы регламентации и контроля содержания витаминов в продуктах, недостаточная информированность населения по вопросам здорового питания [151].

Есть и положительные сдвиги в структуре питания населения. По данным ученых МГУТУ им. К. Г. Разумовского, при оценке итогов реализации Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности на период до 2020 года они пришли к выводу, что в питании населения России по важнейшим группам продуктов удалось достичь рациональных норм потребления. Однако проблемой остаются низкие объемы собственного производства говядины, молока, фруктов и ягод. Авторы приводят красноречивые статистические данные по поголовью коров в Российской Федерации в хозяйствах всех категорий: в 1991 г. поголовье составляло 20,6 млн, к 1999 г. снизилось до 13,1 млн голов, в 2000 г. численность стада уже составила всего 12,7 млн, а за период 2014–2018 гг. еще уменьшилось с 8,2 до 7,9 млн голов [197].

Таблица 1.4

Недостаточное потребление микронутриентов
при соблюдении несбалансированных диет [39]

Диета	Исключенные продукты	Недостаточное содержание в рационе
Частично вегетарианская	Красное мясо, молоко, сыр, йогурт	Железо, кальций, витамины В ₂ , В ₁₂
Лакто-ово-вегетарианская	Красное мясо, мясо птицы, рыба	Железо, витамин В ₁₂
Лакто-вегетарианская	Красное мясо, мясо птицы, рыба, яйца	Железо, витамины D, В ₁₂
Веганская	Красное мясо, мясо птицы, рыба, яйца, молоко, сыр, йогурт, мед	Жирорастворимые витамины, витамины В ₂ , В ₁₂ , кальций, железо, цинк
Редуцированная по энергетической ценности диета	Высококалорийные пищевые продукты	Все витамины

Согласно Государственному докладу 2019 г. [188] в рамках национального проекта «Демография» федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» Роспотребнадзором запланировано проведение исследований для детальной оценки состояния питания населения в различных регионах на основе достоверных данных, которые позволят оценить пищевой статус, включая отклонения от принципов здорового питания населения. На основе полученных аналитических данных будут сформированы рекомендации по коррекции рационов питания.

В 2018 г. в соответствии с отраслевой научно-исследовательской программой Роспотребнадзора на 2016–2020 гг. «Гигиеническое научное обоснование минимизации рисков здоровью населения России» на основе анализа результатов отечественных и зарубежных эмпирических исследований проведен анализ методик обработки и анализа данных, собранных методом дневников питания (*food diary*), о фактическом потреблении пищевых продуктов. Обоснована методика агрегирования качественных данных о фактическом питании, полученных с помощью заполнения дневников питания. С учетом тренда на цифровизацию экономики Роспотребнадзором в 2018 г. обоснованы требования к информационной базе данных о фактическом питании населения.

1.3. Обогащение пищевой продукции массового потребления в России и на Западе. Пищевые продукты функциональные, обогащенные, нутрифицированные и фортифицированные

Начиная с 20-х гг. XX в. одним из важнейших научных направлений в России стали исследования по обоснованию норм питания человека. При анализе пяти вариантов норм физиологических потребностей человека в пищевых веществах и энергии, принятых в 1951, 1968, 1982, 1991 и 2008 гг., видно, как происходили развитие нутрициологии, совершенствование научного обоснования для уточнения величин потребностей и расширения спектра нормируемых пищевых веществ [142]. В 1951 г. Минздравом СССР были утверждены нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах, которые впоследствии, с получением новых научных данных, уточнялись и вводились в действие Минздравом СССР в 1960, 1968, 1982 и 1991 гг. На основе этих норм был разработан и действовал с 1988 г. СанПиН 42-123-4717-88 «Рекомендуемые (регламентируемые) уровни содержания витаминов

в витаминизированных пищевых продуктах». В дальнейшем в Российской Федерации в 2004 г. появились методические рекомендации «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ». Исследования, проводимые более чем тридцатью учреждениями при координации ФГБУН «Научно-исследовательский институт питания», позволили установить адекватные и максимальные уровни потребления минорных биологически активных веществ пищи, разработать к 2008 г. «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». В 2010 и 2016 гг. утверждены «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания». В настоящее время проводится работа по организации проведения научных исследований, направленных на актуализацию рациональных норм потребления пищевых продуктов с учетом рекомендаций ВОЗ, Московской Декларации, принятой на конференции ВОЗ (Москва, май 2011 г.), Декларации, утвержденной Генеральной Ассамблеей ООН (Нью-Йорк, сентябрь 2011 г.), по снижению уровня потребления насыщенных жиров, трансизомеров жирных кислот, свободного сахара и соли, увеличению потребления фруктов и овощей [139].

После периодов разработок норм потребностей в пищевых веществах и энергии как на Западе с 1997 по 2005 г. [84], так и в России с 1951 по 2008 г. парадигма нутрициологии перешла от физиологии и эпидемиологии питания к обеспечению здоровья населения и профилактике заболеваний с помощью изменения структуры питания и внесения в продукты пищевых веществ с заданными физиологическими свойствами [142].

Как было обсуждено выше, питание большинства взрослых россиян до сих пор остается нерациональным из-за высокого потребления жиров животного происхождения и простых углеводов при недостатке в рационе молочных продуктов, мяса, рыбы, овощей и фруктов [164]. По данным Росстата, среднелюдское потребление большинства витаминов и ряда минеральных веществ у взрослого населения не достигает рекомендуемых норм. Адекватно обеспечено всеми витаминами примерно 20 % обследованных лиц. Недостаток витамина D встречается заметно чаще (у 56–70 %) по сравнению с другими витаминами. Полигиповитаминозное

состояние (недостаток трех и более витаминов) отмечается у 22–38 % взрослых [153].

В то же время в развитых странах Запада (Европа, США) и Востока (Япония, Корея) население сейчас высоко оценивает важность продуктов здорового питания [24, 26, 28–30, 32–34]. Выпуск функциональных и органических продуктов там ежегодно увеличивается на 10–12 % и достигает 25–30 % от объема аналогичной продукции [164].

По данным исследования 2017 г., проведенного «Discovery Research Group», в России объем рынка продуктов здорового питания в 2016 г. составил 874 095 млн руб., в 2017 г. этот показатель составил 878 690 млн руб. По прогнозам²⁴, в 2021 г. отечественной пищевой индустрией будет выпущено продуктов здорового питания на 912 477 млн руб. [170].

Таким образом, в современном мире доминирует парадигма, согласно которой надежным способом улучшения пищевого статуса населения в целом является **обогащение пищевых продуктов массового потребления** промышленного производства, поскольку в этом случае не требуется изменения традиционного пищевого поведения населения. Эффективность обязательного обогащения пищевых продуктов массового потребления в постфортификационный период можно сгруппировать по ряду критериев (рис. 1.20) [152].

²⁴ www.sitebs.ru/blogs/34288.html.



Рис. 1.20. Эффект обязательного обогащения пищевых продуктов массового потребления по опыту зарубежных стран [152]

Обогащение витаминами пищевых продуктов массового потребления, или технологическая модификация различных видов пищевых продуктов, — это непосредственное добавление в процессе производства витамина или их смеси (премикса) в пищевой продукт с обязательной маркировкой и указанием их содержания в готовом продукте. Существует два типа обогащения пищевой продукции:

1) массовая фортификация — обогащение пищевых продуктов (хлеб и хлебобулочные изделия; молочные продукты; зерновые продукты, такие как каши, мюсли, хлопья; соки, нектары, напитки; йодированная соль), которые повседневно потребляются всеми слоями населения старше трех лет;

2) целевое обогащение — обогащение пищевых продуктов для отдельных категорий населения.

Обогащение продуктов массового потребления почти всегда является обязательным, законодательно закрепленным, целевое обогащение — как обязательным, так и добровольным в зависимости от проблемы, которую пытаются решить [152].

По принятой в России классификации, продукты питания делятся на продукты массового потребления и специализированные пищевые продукты, в том числе продукты лечебного диетического и лечебного профилактического назначения, продукты для питания детей раннего возраста, а также функциональные и обогащенные продукты.

Согласно российскому национальному стандарту²⁵ функциональный пищевой продукт — это специальный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов. Обогащенный пищевой продукт — это функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ и/или собственной микрофлоры.

Согласно международному анализу тенденций рынка потребления функциональных продуктов в целом, проведенному «Georg Morris Centre», по отдельным видам их производство ежегодно возрастает на 5–40 %. Темпы роста мировой индустрии здорового питания не уступают темпам развития пищевой промышленности. Японии принадлежит 39,2 % мирового уровня рынка функциональных продуктов, США — 31,1 %, пяти европейским странам (Испания, Италия, Германия, Франция

²⁵ ГОСТ Р 52349–2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения (с изменением № 1).

и Великобритании) — 28,1%. Среди европейских стран Германия обладает самым большим объемом рынка функциональных продуктов [170].

В России производство функциональных пищевых продуктов с 2007 по 2013 г. увеличилось на 160 % [170]. При этом рынок функциональных продуктов в России не достигает 5 % от общего объема производства пищевых продуктов [169].

На мировом рынке функциональных продуктов хлебопекарные и молочные изделия доминируют, составляя 72,9 %. На российском рынке функциональные продукты представлены в основном четырьмя группами: 1) продукты на основе зерновых культур (каши, хлопья), в том числе хлебобулочные и кондитерские; 2) безалкогольные напитки; 3) молочные продукты; 4) продукты масложировой отрасли. Продукты остальных подотраслей пищевой промышленности представлены в незначительном количестве [170].

В работе академика А. Б. Лисицына с коллегами [169] проанализирован рынок функциональных пищевых продуктов на мясной основе и выполнена систематизация мировых тенденций развития научных исследований в области создания мясных пищевых продуктов для функционального питания. Проведенный анализ зарубежной литературы показал, что в последние годы научные разработки в области создания функциональных продуктов на мясной основе ведутся по многим направлениям, представленным на рис. 1.21.

В России разработана нормативная база обогащения пищевой продукции витаминами, однако фактически обогащение носит инициативный характер. Объем обогащенных продуктов, выпускаемых в нашей стране, невелик [153].

Мировая практика показывает, что восполнить недостаточное поступление витаминов с пищей можно путем обогащения рациона этими незаменимыми пищевыми веществами. Мировой опыт обогащения микронутриентами пищевых продуктов насчитывает уже более 100 лет [151].

За рубежом обогащение применяется для повышения содержания основных микронутриентов, витаминов и минералов в пищевых продуктах с целью улучшения пищевой ценности продовольствия и обеспечения пользы для здоровья людей при минимизации рисков.



Рис. 1.21. Зарубежные направления разработок мясных функциональных продуктов, по А. Б. Лисицыну [169]

В зарубежной практике используют термин «обогащение» (enrichment) в значении добавления к продуктам питания любых эссенциальных пищевых веществ безотносительно к количеству, набору и цели добавления. Близок термин «нутрификация» (nutrification), подчеркивающий цель такого добавления — увеличение пищевой ценности продуктов питания. Также на Западе принят термин «фортификация» (food fortification), т. е. дополнительное обогащение продуктов питания пищевыми веществами до уровня, превышающего их естественное содержание в данном продукте. Более узкий смысл имеет термин «восстановление» (restoring), обозначающий добавление пищевых веществ к продуктам питания для восстановления их потерь в процессе производства, хранения и реализации [171].

В США, Канаде и Швейцарии начиная с 20-х гг. XX в. обогащают микронутриентами продукты питания для различных групп населения [40–44, 48–53, 171, 109].

Обогащение пищевых продуктов массового потребления может улучшить статус питания населения и не требует коррекции режима питания. ВОЗ и ФАО опубликовали в 2006 г. Рекомендации²⁶ в области обогащения продуктов питательными микроэлементами. В них описаны основные принципы программ обогащения, а также характеристики обогащающих добавок, порядок их отбора и использования в определенных пищевых средах.

Пожалуй, самым популярным в мире обогащенным продуктом является йодированная соль. Программы йодирования соли реализованы в более чем 140 странах всего мира [149].

Дефицит в рационе витамина А может быть решен за счет разнообразия потребляемых пищевых продуктов либо, если это невозможно, за счет обогащения витамином А основных пищевых продуктов, таких как зерновые, молоко, приправы (рафинированный сахар, соль, соусы), пищевые масла и жиры.

Пищевая продукция массового потребления может обогащаться разными путями и в различных направлениях. Так, одним из современных методов, рекомендованных ВОЗ, является биофортификация

²⁶ Allen L et al., eds. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva, World Health Organization and Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2006.

(биообогащение) сельскохозяйственных культур. При этом повышение пищевой ценности культур во время выращивания растений достигается с помощью традиционной селекции растений и/или при использовании биотехнологий с получением трансгенных или генетически модифицированных культур.

Известны проекты по обогащению аминокислотами и протеинами сорго и маниоки, цинком — пшеницы, риса, бобовых, кукурузы, батата, железом — риса, бобовых, батата, маниоки и овощей, каротином — кукурузы, батата, маниоки.

Известен «золотой» рис с повышенным содержанием β -каротина, томаты с высоким содержанием ликопина. Путем обогащения витаминами корма птицы можно получить яйца с максимальным содержанием витаминов и каротиноидов, а также мясо кур с повышенным содержанием витамина Е [151].

Микробиологическая биофортификация заключается в использовании бактерий, которые образуют вещества, способствующие накоплению витаминов и минеральных веществ в процессе жизнедеятельности в продуктах питания или непосредственно в кишечнике человека [17].

Обогащение пшеничной и кукурузной муки, производимой промышленным способом, является эффективным, простым и недорогим способом внесения витаминов и минеральных веществ в питание значительной части населения мира. По информации базы данных «Flour Fortification Initiative»²⁷, в странах Америки доля обогащаемой пшеничной муки промышленного производства составляет 97 %, в Африке — 31 %, в Восточном Средиземноморье — 44 %, в Юго-Восточной Азии — 21 %, в Европе — 6 % и в западной части Тихого океана — 4 %. ВОЗ сформулированы Рекомендации²⁸ по обогащению пшеничной и кукурузной муки железом, цинком, фолиевой кислотой, витамином В₁₂ и витамином А, а также разработаны рецептуры предварительно подготавливаемых смесей из расчета общих количеств потребляемой муки. Не менее распространенной культурой, чем пшеница и кукуруза, в мире является рис, поэтому он также является перспективным сырьем для получения обогащенных продуктов.

²⁷ http://www.ffinetwork.org/country_profiles/.

²⁸ https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/wheat_maize_fortification/ru/.

Обогащение приобрело глобальную тенденцию, особенно в странах со средним уровнем дохода. В 83 странах проводится обязательное обогащение, по крайней мере, одного из видов зерновых культур, в 23 странах — фортификация пищевых масел, в десятке стран — приправ. В мире фортификации подвергается 31 % промышленно произведенной пшеничной муки, потребление которой охватывает более 2 млрд человек, 76 % домохозяйств потребляют йодированную соль [75].

В большинстве экономически развитых стран (США, Великобритания, ФРГ, Италия, Бельгия и др.), а также во многих развивающихся странах Африки, Азии и Латинской Америки проблема оптимизации витаминной обеспеченности населения решается не только путем добровольного обогащения пищевых продуктов, но и путем законодательно регламентированного обогащения витаминами пищевых продуктов массового потребления: муки, макаронных и хлебобулочных изделий — витаминами В₁, В₂, РР и фолиевой кислотой, маргаринов — витаминами А, D и Е, сахара — витаминами А и С, фруктовых соков — витамином С [191]. В США обогащение сухих зерновых завтраков витаминами и минеральными веществами в количестве 15–25 % от рекомендуемого суточного потребления на порцию осуществляется с 1970-х гг., а начиная с 1980-х гг. производится обогащение кальцием апельсинового сока [151].

В Республике Казахстан действуют Правила обогащения (фортификации) пищевой продукции, подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (приказ № 123 от 24 февраля 2015 г.). В Казахстане обогащение — это введение в пищевую продукцию и равномерное распределение в ней одного или более необходимых ингредиентов (витаминов, минералов, белков, аминокислот, жирных кислот) и других веществ, не присутствующих в ней изначально либо присутствующих в недостаточном количестве или утерянных в процессе (на стадии) производства (изготовления) для придания им определенных свойств с целью повышения пищевой ценности продукта и профилактики микронутриентных заболеваний среди населения. При этом в Казахстане обязательному обогащению подлежит производимая для реализации на территории республики пшеничная хлебопекарная мука высшего и первого сортов (железосодержащие витамины, минеральные вещества) и пищевая поваренная соль (йодирование). Кроме того, могут обогащаться

следующие виды пищевой продукции: молоко и кисломолочные продукты, жировая продукция, вода питьевая, расфасованная в емкости, и напитки безалкогольные, дрожжи хлебопекарные, хлеб, хлебобулочные и мучные кондитерские изделия, крупяные изделия из зерновых, готовые блюда.

В России фундаментальный вклад в теорию и практику обогащения пищевых продуктов внесли ученые ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» — В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев и Б. П. Суханов, в содружестве с профильными НИИ и вузами.

В нашей стране обогащение пищевых продуктов имеет длинную историю. Впервые на основании доклада ведущего витаминолога нашей страны В. В. Ефремова по поручению Совнаркома СССР Комиссариату земледелия в 1937–1939 гг. было организовано обогащение на мельницах муки витаминами В₁, В₂ и РР [151]

Началом разработки и реализации программ обогащения пищевых продуктов микронутриентами явилось постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 58 от 14 января 1960 г. «О мерах по дальнейшему улучшению медицинского обслуживания и охраны здоровья населения СССР». Приказом министра здравоохранения СССР № 695 от 24 августа 1972 г. предусматривалась витаминизация ряда продуктов массового потребления (мука, молоко, маргарин, сахар) и обогащение витамином С первых и третьих блюд на предприятиях питания [171].

В 1983 г. Институт питания РАМН совместно с Научным советом Госкомитета СССР по науке и технике, а также Межведомственным советом по профилактике заболеваний и укреплению здоровья населения при Минздраве СССР на основе международного и уже сложившегося отечественного опыта стали инициаторами решения проблемы в рамках программы «Производство пищевых продуктов и рационализация питания населения СССР». Министерство здравоохранения СССР издало приказ № 528 от 5 июля 1988 г. «О мерах по дальнейшему улучшению охраны здоровья населения и укрепления материально-технической базы здравоохранения» [171].

В дальнейшем был принят ряд документов по развитию системы витаминизации пищевых продуктов, в том числе общесоюзной научно-технической программы на 1986–1990 гг. «Создать и освоить производство продуктов детского питания и витаминизированных пищевых продуктов

на основе научных принципов рационального и сбалансированного питания». Целенаправленные мероприятия по профилактике дефицита йода начались в середине 1950-х гг. [139].

Вопросы обогащения пищевых продуктов массового потребления витаминами и минеральными веществами решались в рамках государственных программ: по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АС (1990–1992 гг.), «Высокоэффективные процессы производства продовольствия» (1992–1995 гг.), «Здоровье населения России на 1993–1995 гг.», «Здоровое питание» (1999–2005 гг.) и т. д. [171].

В мировой практике с 40-х гг. XX в. обогащение зерновых продуктов тиамином, рибофлавином и ниацином приобрело повсеместный характер. Так, обогащение муки в Канаде носит обязательный характер с 1933 г., в США — с 1941 г., в Чили — с 1954 г. [151].

В России в 2003 г. было рекомендовано²⁹ обогащение муки, хлеба и хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего и первого сорта пятью витаминами группы В и железом.

В СССР в 1960-х гг. молоко и кисломолочные продукты обогащали аскорбиновой кислотой (постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 58 от 14 января 1960 г. «О мерах по дальнейшему улучшению медицинского обслуживания и охраны здоровья населения СССР»). К 1980-м гг. промышленное производство витаминизированного молока прекратилось. В настоящее время в ряде регионов России осуществляется обогащение молока смесью 10–12 витаминов. С этой целью используются готовые поливитаминные премиксы швейцарской фирмы «Хоффман–Ла-Рош», одобренные специалистами Института питания РАМН. Витамины А и D добавляют в молоко (цельное, обезжиренное, сгущенное) в 11 странах мира. В рамках лечебно-профилактического и диетического питания разрабатываются отдельные группы пищевых продуктов, блюд и кулинарных изделий, обогащенных незаменимыми нутриентами. Среди этих нутриентов наиболее важное значение имеют витамины, минеральные вещества и пищевые волокна, которые могут быть как природного, так и синтетического происхождения [177].

²⁹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 148 от 16.09.2003 «О дополнительных мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом железа в структуре питания населения».

После распада СССР обязательная витаминизация пищевых продуктов массового потребления прекратилась. Потребности в витаминах и минеральных веществах в СССР удовлетворялись за счет собственного производства субстанций. В 1988 г. объем производства витаминов составил 5 863 т, в том числе на нужды пищевой промышленности (обогащение пищевых продуктов) — 8 %. В постсоветское время химический синтез субстанций витаминов в Российской Федерации практически не осуществлялся. В России практически полностью отсутствует собственное производство пищевых ингредиентов и субстанций (витаминов, аминокислот, пищевых добавок, ферментных препаратов, биологически активных веществ, заквасочных и пробиотических микроорганизмов, пребиотических веществ и др.). В связи с отсутствием отечественного производства субстанций витаминов обогащение муки высшего сорта витаминами группы В (фолиевая кислота, В₁, В₂, РР) не регламентируется законодательно. Объем импорта витаминов в 2013 г. составил 7 323 т. Отсутствие собственного производства субстанций витаминов создает угрозу продовольственной безопасности государства в случае прекращения импорта. В этой связи возникает настоятельная необходимость возрождения отечественного производства витаминных субстанций [152, 149]. И это в нашей стране в настоящее время уже делается. Одной из задач Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. является возрождение в стране производства пищевых ингредиентов и субстанций, в том числе витаминов.

В 2010 г. в России подвергалось обогащению витаминами и минеральными веществами только около 2 % хлебобулочных изделий (письмо Главного государственного санитарного врача РФ Г. Г. Онищенко № 01/1867-0-32 от 11 февраля 2010 г. «Об обогащении микронутриентами пищевых продуктов, в том числе массовых сортов хлеба») и молочных продуктов, а также безалкогольных напитков от общего количества их производства (письмо Главного санитарного врача РФ Г. Г. Онищенко № 01/12925-8-32 от 12 ноября 2008 г. «О состоянии заболеваемости, обусловленной дефицитом микронутриентов»). До сих пор, как отмечено в постановлении Главного государственного санитарного врача РФ от 14 июня 2013 г. № 31 «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства

пищевых продуктов функционального и специализированного назначения», обогащенные пищевые продукты производятся в недостаточном количестве, что отрицательно сказывается на состоянии здоровья всех групп населения. Только 14 % предприятий выпускают обогащенные пищевые продукты, по объему производства — 5 %, в том числе по хлебу и хлебобулочным изделиям — лишь 6,4 %, по молоку и молочным продуктам — 3,1%, по напиткам — 8,1 % [151].

Для профилактики дефицита йода подготовлено распоряжение Минздрава России от 23 июня 2003 г. «Об обеспечении общеобразовательных учреждений йодированной солью и пищевыми продуктами, обогащенными микронутриентами». В рамках национальной программы «Школьное молоко» в России с 2008 г. получило распространение обогащение молока йодом.

Анализ присутствующего на потребительском рынке ассортимента обогащенных микронутриентами пищевых продуктов показал, что практически для любого пищевого продукта существует его обогащенный аналог [151].

Однако, в отличие от ряда зарубежных стран, где обогащение пищевых продуктов закреплено законом, в России меры профилактики дефицита микронутриентов осуществляются на добровольной основе. Исключение составляет йод. В рамках национальных проектов «Здоровье» и «Демография» в качестве превентивных мер Минздрав России готовит законопроект «О профилактике заболеваний, вызванных дефицитом йода». Закон предполагает, что йодирование соли будет проводиться в три этапа: с 01.06.2020 ее обяжут использовать при изготовлении хлебобулочных изделий; с 01.06.2021 вся соль должна быть обогащена йодатом калия; с 01.06.2022 все пищевые продукты должны быть изготовлены с использованием йодированной пищевой соли [171].

Добровольное обогащение по инициативе производителей (управляемое промышленностью обогащение, *market-driven fortification*), т. е. добавление витаминов и минеральных веществ по усмотрению производителей пищевых продуктов, нередко встречается в индустриально развитых странах [152]. Следует учесть, что добровольное обогащение часто осуществляется в маркетинговых целях [171].

Основные виды обогащенных пищевых продуктов, присутствующих на российском рынке в настоящее время, и конкретные примеры таких продуктов отражены на рис. 1.22 и в табл. 1.5.

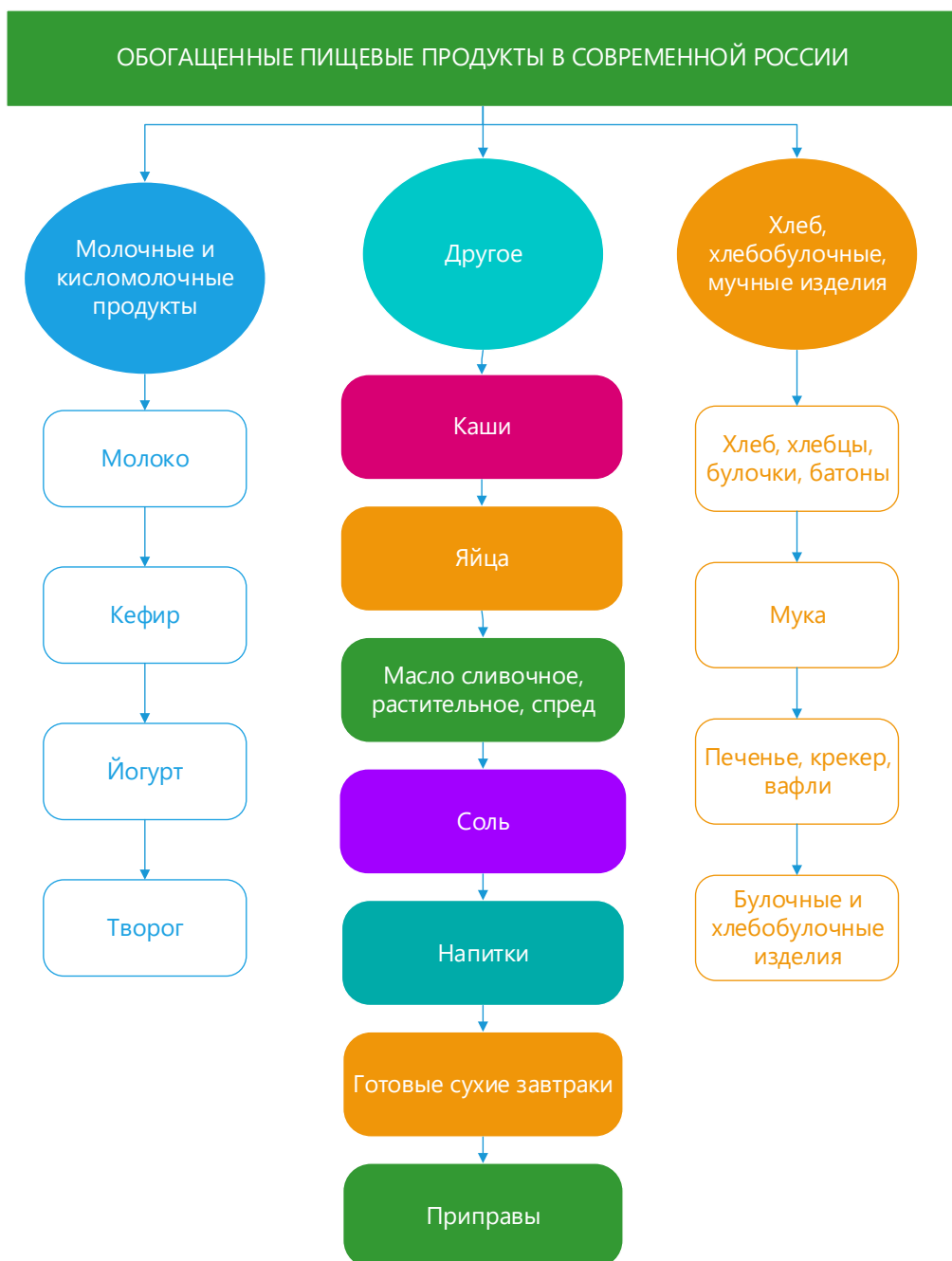


Рис. 1.22. Основные виды обогащенных пищевых продуктов, присутствующие на современном российском рынке (по данным ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»)

Таблица 1.5

Примеры обогащенных пищевых продуктов, присутствующие на российском рынке (по данным ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»)

Продукт	Обогатитель
Молочные и кисломолочные продукты	
Молоко (АО Прогресс)	витамин D ₃ , кальций, инулин, йод
Молоко питьевое пастеризованное (Модест)	витамины С, В ₁ , В ₆ , В ₉ , В ₁₂ , РР, йодказеин
Молоко питьевое стерилизованное (Модест)	витамины С, В ₁ , В ₆ , В ₉ , В ₁₂ , РР
Молоко питьевое стерилизованное (Модест)	витамины А, Е, С, В ₁ , В ₆ , В ₉ , РР, йод
Творог (Danone)	кальций, витамин D ₃
Творог (Витебскмясомолпром)	бифидобактерии
Творожок (Danone)	кальций, витамин D ₃
Творожок с печеньем (Danone)	кальций, витамин D ₃
Творожок с овсянкой Оптимаь (Савушкин)	бифидобактерии
Йогурт питьевой (Danone)	кальций, витамин D ₃
Йогурт питьевой (Модест)	витамины А, Е, D ₃ , В ₆
Йогурт питьевой (Савушкин)	бифидобактерии
Йогурт (Danone)	кальций, витамин D ₃
Йогурт (Probiotic Центр инновационных технологий)	бифидобактерии
Био-йогурт (Danone)	белок, бифидобактерии
Кефир (Рузское молоко)	йодированный белок
Кефир (Маслодел)	йодказеин
Кефир (Североморский молочный завод)	кальций
Кефир (Североморский молочный завод)	витамин С
Кефир (Североморский молочный завод)	бифидобактерии
Кефир (Североморский молочный завод)	лактозула
Кефир (Коровкино)	бифидобактерии
Кефирный биопродукт (Юнимилк)	лактобактерии
Кефирный напиток (Ehrmann)	пребиотики

Продолжение табл. 1.5

Продукт	Обогатитель
Молочный коктейль (Danone)	кальций, витамин D ₃
Яйца	
Яйца куриные пищевые столовые (Волжанин)	полиненасыщенные жирные кислоты
Яйца куриные пищевые диетические (Птицефабрика Роскар)	каротиноиды
Яйца куриные пищевые столовые (Синявинская птицефабрика)	селен, витамин E
Яйца куриные пищевые столовые (Синявинская птицефабрика)	селен
Соль	
Соль выварочная (ООО ТДС)	йодат калия
Соль с пониженным содержанием натрия (Валетек Продимпэкс)	калий хлористый, магний сернокислый, калий йодноватокислый
Спреды	
Спред растительно-жировой (Юнилевер)	витамины A, E, D ₃
Напитки	
Напиток соевый (Alpro)	витамины D, B ₁₂
Напиток соевый (Alpro)	витамины D, B ₁₂ , B ₂ , кальций
Напиток овсяный (Alpro)	витамины D, B ₁₂ , B ₂ , кальций, инулин
Кисель (Леовит)	витамины C, E, цинк
Кисель (Леовит)	витамин C, рутин
Кисель (Леовит)	витамин C
Кисель (Леовит)	витамины E, C, рутин, лютеин
Кисель (Леовит)	ниацин, витамины E, B ₆ , B ₁₂ , C, пантотеновая кислота, фолиевая кислота, биотин
Какао (Кофейная компания «Вокруг света»)	витамин C
Напиток с какао (Нестле Россия)	железо, цинк, витамины D, C, B ₁
Каши	
Каша (Нестле Россия)	инулин
Каша (Droga Kolinska)	витамины A, D, E, C, тиамин, рибофлавин, витамин B ₆ , ниацин, фолиевая кислота, витамин B ₁₂ ,

Продукт	Обоганитель
	пантотеновая кислота, биотин, железо, магний, цинк, йод

Продолжение табл. 1.5

Продукт	Обоганитель
Каша овсяная (Леовит)	витамины С, Е, пантотеновая кислота, В ₆ , биотин, цинк
Каша овсяно-рисовая (Art Life)	бифидобактерии
Каша овсяная (НоваПродукт АГ)	белок, инулин
Конфеты	
Конфеты (Рот Фронт)	витамины А, Е, В ₁ , В ₂ , В ₆ , В ₁₂ , РР, фолиевая кислота, пантотеновая кислота, биотин
Конфеты (Компания Юг)	пробиотики, пребиотики, инулин, витамин С, лактулоза
Конфеты (Артлайф)	витамины С, Е, А, биотин, кальций, цинк, медь, селен
Конфеты (Артлайф)	витамины С, D ₃ , кальций, магний
Конфеты (Артлайф)	пробиотики, пребиотики
Конфеты (Артлайф)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₃ , В ₅ , В ₆ , В ₉ , В ₁₂ , С, Е, А, D ₃ , кальций, магний, калий, цинк
Конфеты (Vobro)	витамины В ₆ , С, Е
Драже (Арго)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₃ , В ₅ , В ₆ , В ₇ , В ₉ , В ₁₂ , С, Е, А, D ₃ , цинк, железо, медь, йод
Печенье	
Печенье (Мон Делис Русь)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, В _с , железо
Печенье (Рот Фронт)	витамины С, В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, фолиевая кислота, железо, коэнзим Q ₁₀ , альфа-липовая кислота
Печенье (Рот Фронт)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , пищевые волокна
Печенье (КДВ)	витамины С, РР, В ₁ , В ₂ , кальций, железо
Печенье (Фармалакт)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₃ , В ₆ , железо
Печенье (Конти-Рус)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, фолиевая кислота, железо
Печенье (Саратовская)	йодированные белки «Йодарр», витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, фолиевая кислота
Печенье (АО Прогресс)	витамины С, РР, В ₁ , В ₂ , В ₅ , В ₆ , кальций, фосфор, железо, цинк

Продукт	Обогатитель
Печенье (Славянка)	витамины С, В ₁ , В ₂ , РР, железо
Крекер (Любятово)	витамины Е, С, бета-каротин
Крекер (RAW FOOD)	витамины А, В ₁ , F и фитостерины

Окончание табл. 1.5

Продукт	Обогатитель
Хлеб	
Хлеб (Псковский хлебокомбинат)	йодказеин
Хлеб (Сокур-63)	йод, витамины В ₁ , В ₆ , РР
Хлеб (Сокур-63)	витамины С, Е, бета-каротин
Хлеб (Хлебодар)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , В ₁₂ , РР, Е, фолиевая кислота, железо
Батон (Колос)	пектин
Булочки (Казанский хлебозавод № 2)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , В ₁₂ , В _с , РР, Е, железо
Булочные изделия (Аскалон)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, фолиевая кислота, железо, кальций, натрий, йод
Хлебцы (Dr. Korner)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₆ , РР, фолиевая кислота, железо
Хлебцы (Молодец)	бета-каротин
Готовые сухие завтраки	
Мюсли (Лантманнен АКСА)	витамин Е
Хлопья кукурузные (Нестле)	витамины В ₂ , В ₃ , В ₆ , пантотеновая кислота, фолиевая кислота
Хлопья кукурузные (Dr.Schar)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₃ , В ₆ , В ₁₂ , пантотеновая кислота, фолиевая кислота, биотин
Готовый завтрак (Нестле)	витамины В ₂ , В ₃ , В ₆ , пантотеновая кислота
Готовый завтрак (Нестле)	витамины В ₁ , В ₂ , В ₃ , В ₆ , D, пантотеновая кислота, фолиевая кислота, кальций, железо
Готовый завтрак (Роял Кейк)	белок
Сухой завтрак (РК ЕвроПрестиж)	витамины С, Е, группы В

Руководитель «Лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» доктор технических наук, профессор А. А. Кочеткова предложила классификацию продуктов здорового питания (рис. 1.23).

По способу достижения требуемых свойств продукты здорового питания подразделяются на продукты, полученные путем направленной *in vivo* и *in vitro* модификации сырья [165].



Рис. 1.23. Классификация пищевых продуктов здорового питания, по А. А. Кочетковой [165]

К пищевой продукции, полученной вследствие прижизненной (*in vivo*) модификации, относятся:

1) продукты, полученные в результате естественного (природного) обогащения, на основе сельскохозяйственного сырья (растительного и животного), в результате выращивания которого было достигнуто требуемое соотношение целевых ингредиентов;

2) продукты, требуемые свойства которых получены в результате манипулирования с животными, в первую очередь от животных

направленно созданного породного состава, генно-модифицированных, а также от животных, подвергнутых специальным воздействиям с целью достижения специфических характеристик мясного сырья;

3) органические (экологические) продукты — пищевые продукты, изготовленные из сельскохозяйственного сырья, выращенного экстенсивным способом, без применения лекарственных, химических и аналогичных стимуляторов роста, а также пестицидов и гербицидов.

Продукты искусственного обогащения, изменения состава и свойств которых проводят после убоя животного (*in vitro*), — продукты питания, в рецептуры которых на стадии приготовления вводят добавки, приводящие к достижению требуемого соотношения целевых ингредиентов.

Профессором С. Б. Юдиной сформулированы требования к продуктам геронтологического питания, которые сводятся к следующим [207]:

1) соотношение массовой доли белка и массовой доли жира должно составлять 1 : 0,8;

2) отношение массовой доли лизина к массовой доле суммы метионина и цистина должно стремиться к 1;

3) массовая доля триптофана должна быть менее 1 г/100 г белка;

4) соотношение массовых долей насыщенных, моновенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот должно составлять 3 : 6 : 1, при этом в наборе полиненасыщенных жирных кислот должна присутствовать кислота группы омега-3;

5) энергетическая ценность 100 г готового продукта должна находиться в пределах 600–650 кДж;

6) продукт должен содержать минеральные вещества (калий, кальций, магний, фосфор, железо, селен, цинк) и витамины Е, С, группы В, РР, позволяющие замедлять процессы старения; термостабильные компоненты, ингибирующие окисление липидных мембран, стимулирующие перистальтику и способствующие регуляции холестерина обмена.

1.4. Основные этапы эволюционного развития нутрициологии. Появление, развитие и смена концепций в области здорового питания. Феномен цифровой нутрициологии

Первые научные представления о питании человека и здоровом питании зародились в глубокой древности и непрерывно развивались (рис. 1.24). Согласно античной теории питания (основоположники — Аристотель и Гален), которая впервые связала пищу и здоровье, питание организма происходит за счет крови, непрерывно образующейся из

п и щ е в ы х

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЕЛИКИХ О ПИТАНИИ ЧЕЛОВЕКА

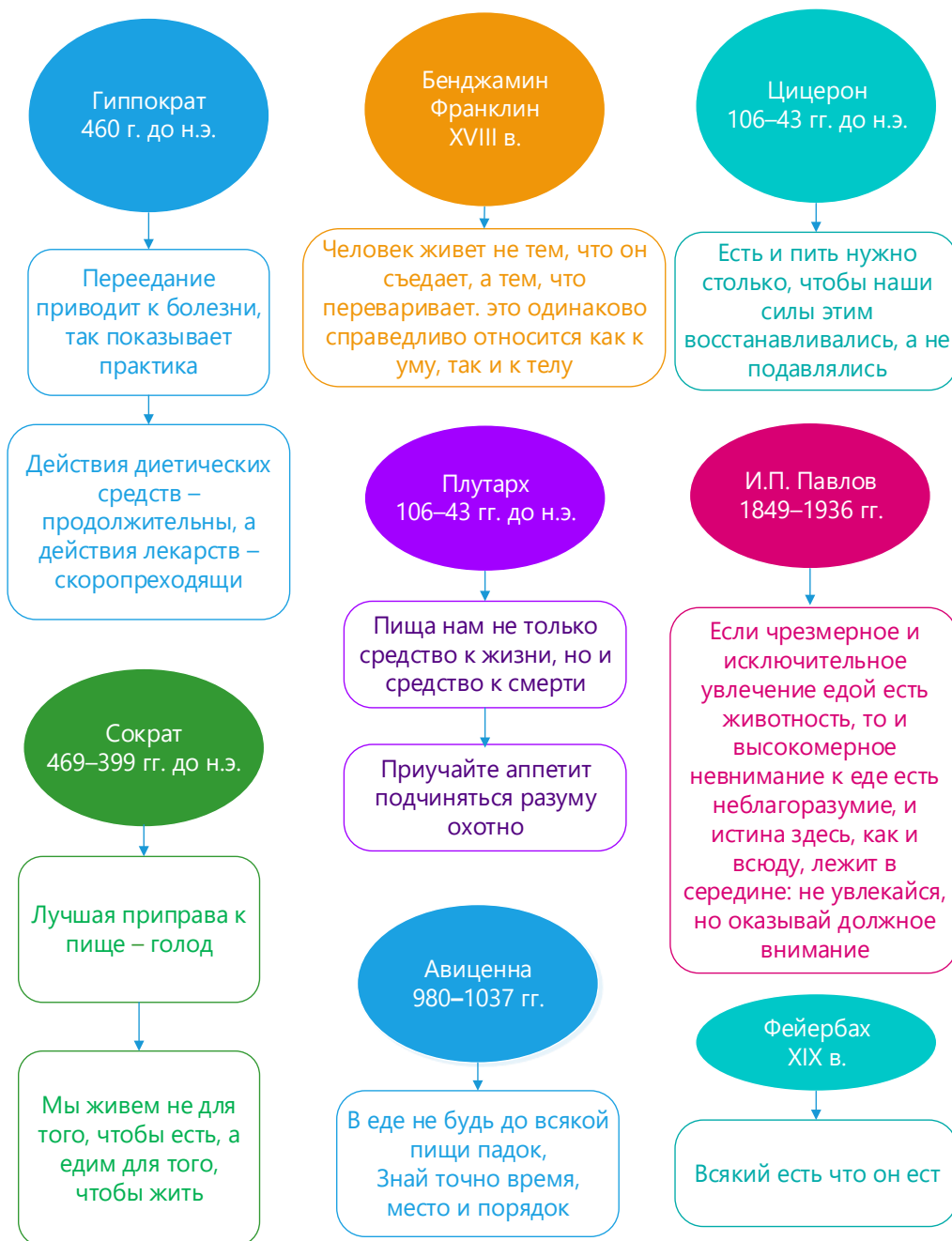


Рис. 1.24. Высказывания древних мыслителей и ученых о питании

веществ в результате сложного процесса неизвестной природы, сходного с брожением. В печени кровь очищается и затем используется для питания органов и тканей. Таким образом, первоначально пищеварение рассматривалось как процесс трансформации пищевых веществ в другие субстанции, которые служат источником энергии и строительных компонентов. На этом основании строились многочисленные лечебные диеты, обеспечивающие более легкое превращение пищевых веществ в кровь и лучшие свойства последней [201].

Важную роль в становлении нутрициологии как точной науки сыграло открытие первого³⁰ и второго³¹ законов термодинамики, которое пришлось на XIX в. Выдающиеся ученые этого периода — Дж. П. Джоуль, С. Карно, У. Томсон (барон Кельвин), Дж. У. Гиббс, Ю. Р. Майер, Г. Гельмгольц, Л. Больцман, В. Оствальд и др.

Эволюционное развитие нутрициологии сопровождалось постепенным накоплением научных сведений о химическом составе пищи, роли отдельных пищевых веществ в процессах обмена и потребностях в них, обеспечивающих нормальное функционирование всех органов и систем организма [198].

Появление нутрициологии как самостоятельной науки следует отнести к концу XIX в. — первой четверти XX в. — эпохе физиологии. Движущей силой появления и развития такой науки, как физиология питания, стали российские ученые И. П. Павлов, И. М. Сеченов, М. Н. Шатерников, О. П. Молчанова, Г. К. Шлыгин. В их работах впервые в мире систематизированы и сформулированы представления о потребности организма человека в белке и энергии. Ими были проведены исследования в области расшифровки механизмов пищеварения, работы пищеварительных желез и высшей нервной деятельности в регуляции этих процессов. Это был период, когда физиологическая наука формировала все основные принципы, законы, требования в области науки о питании [198]. На основании этих исследований в СССР в 1951 г. были разработаны первые «Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии», где под пищевыми веществами подразумевались белки, жиры, углеводы. Согласно классической теории питания, основанной на работах академика И. П. Павлова и французского химика А. Л. Лавуазье, пища атакуется ферментами, в результате чего ассимилируются мономеры;

³⁰ Закон сохранения энергии.

³¹ Закон возрастания энтропии.

установлены макронутриенты, нужные для поддержания нормальной жизнедеятельности.

Теория сбалансированного питания возникла вместе с классическим экспериментальным естествознанием и опирается на основные законы сохранения материи и энергии по отношению к биологическим системам (Р. Реомюр, Л. Спалланцани, А. Лавуазье, Г. Гельмгольц и др.). С теорией сбалансированного питания связаны представления об идеальной пище и оптимальном сбалансированном питании, которые базировались на балансных подходах к оценке и режиму питания [201, 199].

В середине XX в. наступила эра биохимии. Огромный вклад в развитие этого направления внесли российские и зарубежные ученые А. А. Покровский, С. Е. Северин, А. Е. Браунштейн, Т. Т. Березов, В. А. Энгельгардт, П. Д. Митчелл.

Теория сбалансированного питания может быть описана следующими постулатами [201]:

1) питание поддерживает молекулярный состав организма и возмещает его энергетические и пластические расходы;

2) идеальным считается питание, при котором поступление пищевых веществ максимально точно (по времени и составу) соответствует их расходу;

3) поступление пищевых веществ в кровь обеспечивается в результате разрушения пищевых структур и всасывания нутриентов, необходимых для метаболизма, энергетических и пластических потребностей организма;

4) пища состоит из нескольких компонентов, различных по физиологическому значению, нутриентов, балластных веществ (от которых она может быть очищена) и вредных (токсических) веществ;

5) ценность пищевого продукта определяется содержанием и соотношением в нем аминокислот, моносахаридов, жирных кислот, витаминов и некоторых солей;

6) утилизация пищи осуществляется самим организмом.

Согласно теории сбалансированного питания, зная набор необходимых нутриентов, можно конструировать пищевые рационы, достаточные для выживания, нормального функционирования и развития организмов. При возникновении каких-либо нарушений дефект должен быть отнесен на счет недостатка одного или нескольких нутриентов. Таким образом были открыты витамины, микроэлементы, незаменимые аминокислоты и т. д.

Существенной вехой в развитии нутрициологии стали открытие в первой трети XX в. витаминов и понимание их физиологической роли.

В работах Н. И. Лунина, К. Функа, В. В. Пашутина, Х. Эйкмана, Ф. Хопкинса и ряда других ученых на доказательной основе показано, что для поддержания жизнедеятельности организма кроме макронутриентов и энергии необходимы также и минорные вещества пищи, названные витаминами (в ранних зарубежных работах — *accessory food factors*).

Было продемонстрировано, что примерно половина из 20 аминокислот, составляющих белки, являются незаменимыми для реализации некоторых метаболических функций. Число незаменимых аминокислот варьирует от 10 до 13 в зависимости от вида животного, его рациона и некоторых других факторов [201].

Своего расцвета теория сбалансированного питания достигла в середине XX в.

Установление основных метаболических потоков, ферментных ворот, отвечающих за превращение пищевых веществ в энергию, механизмов ассимиляции пищевых веществ позволило академику А. А. Покровскому сформулировать основы биохимии питания и концепцию сбалансированного питания, а также предложить в 1962 г. формулу сбалансированного питания — строгое количественное соотношение между более чем 60 нутриентами (табл. 1.6). На ее основе разработаны и утверждены Минздравом СССР в 1968 г. новые «Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии», дифференцированные, учитывающие особенности мужчин и женщин разных возрастов и с различным уровнем физической нагрузки.

Следствием теории сбалансированного питания стала идея идеальной пищи — максимально улучшенной пищи за счет обогащения пищевых продуктов веществами, непосредственно участвующими в обмене веществ, и отбрасывания балластных веществ. В начале XX в. многие ученые пришли к заключению, что можно создать идеальную пищу в виде оптимальной смеси чистых эссенциальных нутриентов и, возможно, вкусовых добавок. Затем в 70-х гг. XX в. эта концепция трансформировалась в идею о конструировании смеси элементов, участвующих в обмене веществ и не нуждающихся в переработке, в оптимальном соотношении, т. е. в идею о создании элементных или мономерных диет (табл. 1.7). Эта пища должна состоять из наборов аминокислот, моносахаридов, жирных кислот, витаминов, минеральных веществ и т. д. Другим следствием теории сбалансированного питания стала предложенная в 1908 г. П. Э. М. Бертло идея парентерального (прямого, или внутрисосудистого) питания — прямое введение в кровь

нутриентов, минуя желудочно-кишечный тракт. Парентеральное питание в настоящее время используется в лечебных учреждениях при терапии различных заболеваний (нарушения белкового обмена, ожоговые травмы, нарушения желудочно-кишечного тракта, онкологические заболевания, патология печени, почек и др.) [201].

Таблица 1.6

Средние потребности взрослого человека в пищевых веществах
в соответствии с формулой сбалансированного питания
А. А. Покровского [193]

Пищевые вещества	Суточная потребность
Вода, г:	1 750–2 200
в том числе:	
питьевая вода, чай кофе и т. д.	800–1 000
в супах	250–500
в продуктах питания	700
Белки, г:	80–100
в том числе животные	30–60
Незаменимые аминокислоты, г:	
триптофан	1
лейцин	4–6
изолейцин	3–4
валин	3–4
треонин	2–3
лизин	3–5
метионин	2–4
фенилаланин	2–4
Заменимые аминокислоты, г:	
гистидин	1,5–2
цистин	2–3
тирозин	3–4
аланин	3
серин	3
глутаминовая кислота	16
аспарагиновая кислота	6
пролин	5
гликокол	3
Углеводы, г:	400–500
в том числе:	
крахмал	400–450
сахар	50–100
Органические кислоты (лимонная, молочная и т. д.), г	2
Балластные вещества (клетчатка, пектин), г	25

Пищевые вещества	Суточная потребность
Жиры, г:	60–100
в том числе:	
растительные	20–25
незаменимые полинасыщенные жирные кислоты	2–6
холестерин	0,3–0,6
фосфолипиды	5
Минеральные вещества, мг:	
кальций	800–1 000
фосфор	1 000–1 500
натрий	4 000–6 000
калий	2 500–5 000
хлориды	5 000–7 000
магний	300–500
железо	10–18
цинк	10–15
марганец	5–10
хром	0,2–0,25
медь	2
кобальт	0,1–0,2
молибден	0,5
селен	0,5
фториды	0,5–1,0
йодиды	0,1–0,2
Витамины, мг:	
С (аскорбиновая кислота)	50–70
В ₁ (тиамин)	1,5–2,0
В ₂ (рибофлавин)	2,0–2,5
РР (ниацин)	15–25
В ₅ (пантотенат)	5–10
В ₆ (пиродоксин)	2–3
В ₁₂ (цианокобаламин)	0,002–0,005
Н (биотин)	0,15–0,30
В ₄ (холин)	500–1 000
Р (рутин)	25
В ₉ (фолацин)	0,2–0,4
D (кальциферолы)	0,0025–0,01 (100 МЕ)
А (ретинол)	1,5–2,5
Е (токоферолы)	8–10
К (филлохиноны)	0,2–0,3
В8 (инозит)	0,5–1,0
Каротины	3–5
Липоевая кислота, г	0,5
Общая энергетическая ценность — 3 000 ккал (12 540 кДж)	

Таблица 1.7

Пример элементной диеты для взрослого мужчины, 1970-е гг. [127]

Вещества	Потребность
Аминокислоты, г	
Лизин	3,58
Лейцин	3,83
Изолейцин	2,42
Валин	2,67
Фенилаланин	1,75
Аргинин	2,58
Гистидин	1,58
Метионин	1,75
Аланин	2,58
Натрия-L-аспартат	6,40
Треонин	2,42
Пролин	10,33
Глицин	1,67
Серин	5,33
Тирозинэтиловый эфир	6,83
Триптофан	0,75
Глутамин	9,07
Цистеинэтиловый эфир	0,92
Водорастворимые витамины, мг	
Тиамин (В ₁)	1,00
Рибофлавин (В ₂)	1,50
Пиридоксин (В ₆)	1,67
Никотинамид	10,00
Инозит	0,83
Пантотенат кальция (РР)	8,33
Биотин	0,83
Фолиевая кислота	1,67
Аскорбиновая кислота (С)	62,50
Цианокобаламин (В ₁₂)	0,00167
n-аминобензойная кислота	416,56
Битартрат холина	231,25
Соли, мг	
Калия иодид	0,25
Марганца ацетат	18,30
Цинка бензоат	2,82
Меди ацетат	2,50

Окончание табл. 1.7

Вещества	Потребность
Кобальта ацетат	1, 67
Натрия глицерофосфат	5 230
Аммония молибдат	0,42
Калия гидроксид	3 970
Магния оксид	380
Натрия хлорид	4 470
Железа глюконат	830
Кальция хлорид	2 440
Натрия бензоат	1 000
Углеводы, г	
Глюкоза	555,0
Глюконо-δ-лактон	17,2
Жиры и жирорастворимые витамины, мг	
Этил линолеат	2 000
Витамина А ацетат	3,64
Витамин D	0,057
α-токоферолацетат	57,29
Менадион	4,58
Общая калорийность (ккал)	2 500

Развитие науки позволило открыть новые, не известные ранее физиологические механизмы, такие как лизосомальное и мембранное пищеварение, различные виды транспорта пищевых веществ, общие эффектов кишечной гормональной системы. Получены научные данные о влияния элементных диет на организм. В результате этого в 80-х гг. XX в. академик А. М. Уголев развил теорию сбалансированного питания и сформулировал новую — теорию адекватного питания, которая может быть описана следующими постулатами [201]:

1) питание поддерживает молекулярный состав и возмещает энергетические и пластические расходы организма на основной обмен, внешнюю работу и рост;

2) нормальное питание обусловлено не одним потоком нутриентов из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду организма, а несколькими потоками нутритивных и регуляторных веществ, имеющих жизненно важное значение;

3) необходимыми компонентами пищи служат не только нутриенты, но и балластные вещества;

4) в метаболическом и особенно трофическом отношении ассимилирующий организм является надорганизменной системой;

5) существует эндозкология организма-хозяина, образуемая микрофлорой кишечника, с которой организм хозяина поддерживает сложные симбионтные отношения, а также кишечной, или энтеральной, средой;

6) баланс пищевых веществ в организме достигается в результате освобождения нутриентов из структур пищи при ферментативном расщеплении ее макромолекул за счет полостного и мембранного пищеварения, а в ряде случаев — внутриклеточного (первичные нутриенты), а также вследствие синтеза новых веществ, в том числе незаменимых, бактериальной флорой кишечника (вторичные нутриенты). Относительная роль первичных и вторичных нутриентов варьирует в широких пределах.

Следующей важной вехой в развитии нутрициологии стало появление нового направления на стыке диетотерапии и фармакологии — микронутриентологии, связанной с лечебно-профилактическим применением биологически активных веществ пищи. Микронутриентология объединяет задачи витаминологии, учения о биологической роли микроэлементов, биологически активных веществ пищи и направлена на использование физиологического, защитного и лечебно-профилактического действия различных микронутриентов на жизненно важные функции здорового и больного организма.

Важным этапом в развитии нутрициологии стал конец XX в. В этот период стали доступны геномный и постгеномный уровни определения ключевых факторов, пришло понимание их роли и ответственности за регуляцию экспрессии генов, участвующих в процессе метаболизма пищевых веществ, а также механизмов защиты организма от неблагоприятных факторов окружающей среды и формирования адаптационного потенциала, включая иммунный статус и систему антиоксидантной защиты, системы ферментов метаболизма ксенобиотиков и системы регуляции жизни клетки. В этот период был расширен спектр исследований, позволивших перейти к изучению роли микронутриентов, в частности минорных биологически активных соединений, и получению доказательств их функционального значения как экзогенных регуляторов метаболизма [198].

В научных работах начиная с 80-х гг. XX в. и по настоящее время исследуется физиологическое значение в питании человека таких биологически активных веществ, как полиненасыщенные жирные кислоты

ω -6 и ω -3, фитостерины, каротиноиды, терпены, полисахариды, пищевые волокна и др. (рис. 1.25).

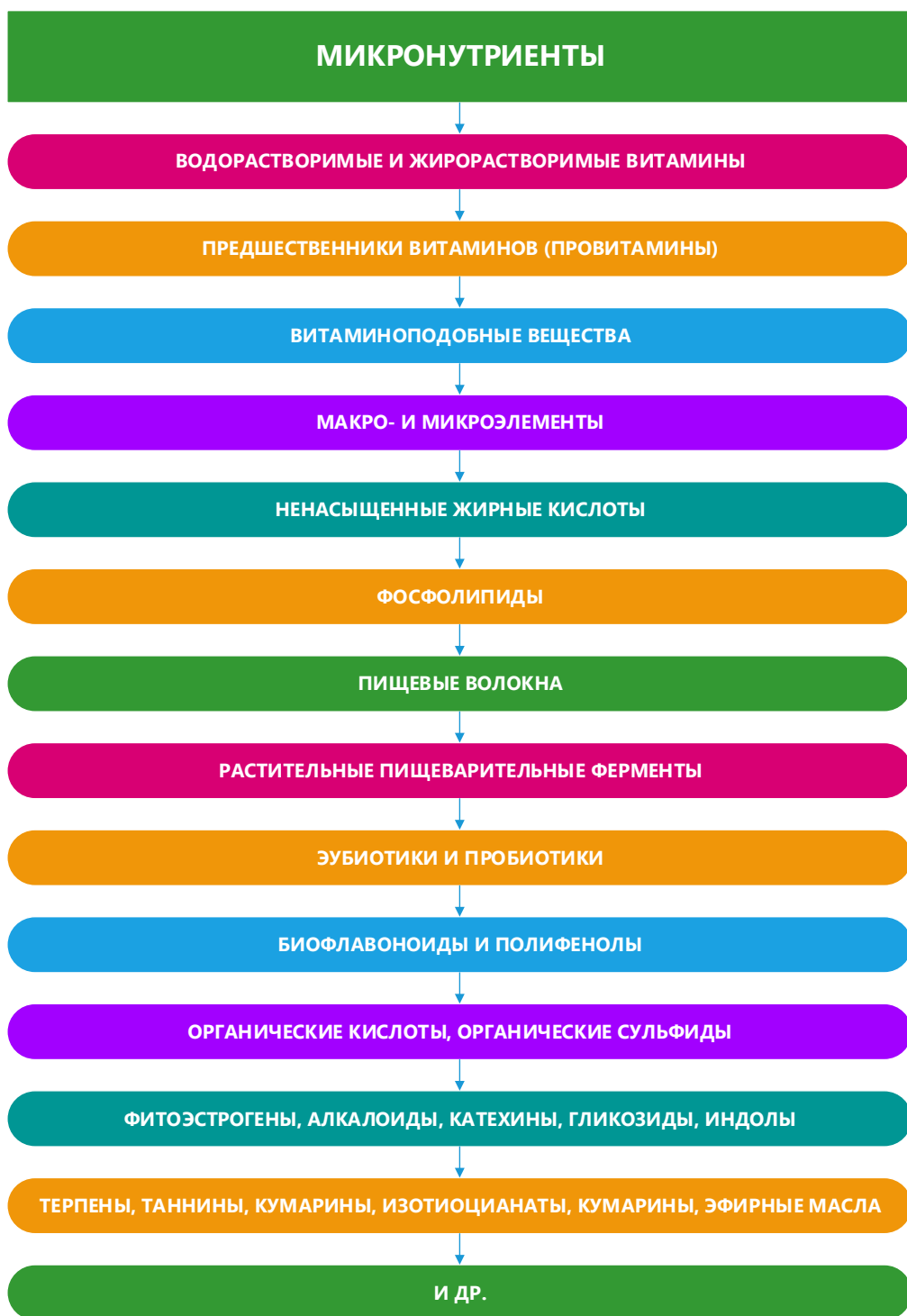


Рис. 1.25. Биологически активные вещества пищи

Благодаря научным работам академика А. А. Покровского и его учеников значительно расширился список эссенциальных для человека макро- и микроэлементов (K, Na, Cl, Cu, Mn, Cr, Mo, Se), а также макро- и микроэлементов, имеющих предполагаемые биохимические функции (Si, Br, V, Ag, Co, F). С учетом полученных новых знаний были внесены коррективы в версию 2008 г. «Норм физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», где, помимо нормативных величин по животным и растительным белкам и жирам, витаминам, макро- и микроэлементам, дополнительно введено 15 показателей по биологически активным веществам, а также разработаны в 2004 г. методические рекомендации «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ», содержащие информацию о более чем 170 биологически активных соединениях.

Методология гармонии в питании, заложенная в трудах академика А. А. Покровского, получила продолжение в концепции оптимального питания, разработанной академиком В. А. Тутельяном. В качестве формулы оптимального питания введено понятие нутриома, который имеет свои особенности у каждого индивидуума в различные периоды его жизни и является логическим развитием концепции сбалансированного питания академика А. А. Покровского. Таким образом, необходимость индивидуализации питания подтверждается на генетическом уровне [192].

В основе современных представлений о здоровом питании лежит концепция оптимального питания, предусматривающая необходимость и обязательность полного обеспечения потребностей организма не только в эссенциальных макро- и микронутриентах, но и в целом ряде минорных биологически активных компонентов пищи, перечень и значение которых постоянно расширяются. Концепция оптимального питания базируется на двух фундаментальных законах, первым из которых является соответствие энерготрат энергопотреблению, что предопределяет неоспоримость примата энергетического баланса организма, вторым — обязательность потребления основных пищевых веществ (белков, жиров и углеводов) в физиологически необходимых соотношениях, что позволяет удовлетворить потребности человека в отдельных эссенциальных (незаменимых) нутриентах. Нарушение любого из этих законов (недостаточное или избыточное потребление пищи или отдельных нутриентов) неизбежно приводит к нарушениям пищевого статуса и, как следствие, к алиментарно-зависимым заболеваниям. Концепция

оптимального питания является дальнейшим развитием концепции сбалансированного питания, послужившей научным обоснованием для значительного расширения фундаментальных и прикладных исследований в области нутрициологии.

В последнее время представления о сущности питания дополнены данными о роли минорных компонентов пищи в развиваемой академиком В. А. Тутельяном теории оптимального питания. В результате всесторонней оценки питания в различных регионах мира и оценки тенденций в питании человека в процессе его эволюции было показано, что в современном цивилизованном обществе произошло резкое (в 2–3 раза) снижение количества потребляемой человеком пищи из-за снижения энерготрат. Следствием этого явилось недополучение человеческим организмом некоторых минорных биологически активных компонентов пищи. Достаточное количество минорных компонентов присутствует в объеме пищи, содержащей 5 000–6 000 ккал. Такое количество пищи человек потреблял в более ранний эволюционный период. Дефицит минорных компонентов пищи приводит к снижению качества здоровья. При этом существующая дилемма — уменьшение потребления пищи вследствие снижения энерготрат современного человека или получение всего необходимого набора нутриентов (включая минорные) — может быть разрешена с помощью разработки рекомендаций по рациональному сочетанию в питании традиционных продуктов с различными биологическими добавками (нутрицевтиками и парафармацевтиками), способными восполнить дефицит нутриентов. Оптимальное питание подразумевает использование рациональных, сбалансированных по нутриентному составу пищевых рационов, включающих разнообразные традиционные продукты питания. С целью адекватной индивидуальной оптимизации рационов питания могут использоваться метаболически ориентированные смеси, специализированные сбалансированные смеси, нутрицевтики и фармаконутриенты. Причем употребление специализированных пищевых продуктов питания и нутрицевтиков может продолжаться практически неограниченно всеми категориями россиян для сохранения оптимальной функции адаптационных механизмов и поддержания функциональных резервов организма [199].

На рубеже XXI в. академиком РАМН В. А. Тутельяном выдвинута «Концепция оптимального питания населения России». Во-первых, это сохранение преимущественного питания человека натуральными, разнообразными и высококачественными продуктами питания. Во-вторых,

использование специализированных (функциональных) пищевых продуктов, получаемых путем введения в состав пищевого сырья или традиционных пищевых продуктов, дефицитных для населения страны, макро- и микронутриентов (витаминов, минеральных веществ, пре- и пробиотиков, полиненасыщенных жирных кислот и пр.). В-третьих, широкое внедрение в питание населения страны биологически активных веществ (БАД) к пище — макро- и микронутриентов, пре- и пробиотиков и других БАД природного происхождения. Под оптимальным питанием следует понимать правильно организованное и соответствующее физиологическим ритмам (завтрак, обед, ужин) снабжение организма хорошо приготовленной, питательной и вкусной пищей, содержащей адекватное количество эссенциальных нутриентов, необходимых для его развития и функционирования [199].

Актуальным современным направлением нутрициологии является персонализированное питание. В XXI в. появились новые фундаментальные направления в науке о питании, направленные на улучшение структуры питания населения и изучающие взаимосвязь питания и здоровья: нутригеномика, нутригенетика, нейронутрициология, антропонутирициология, нутримикробиомика.

Нутригенетика и нутригеномика — это новые области науки, быстро развивающиеся на волне персонализированной медицины, которая предоставляет возможности для открытия и использования биологически активных нутритивных соединений [142].

В основе нутригеномики лежит понятие об экспрессии генов. Вероятность развития сердечно-сосудистых патологий, ожирения, остеопороза, сахарного диабета и ряда других заболеваний контролируется парными генами. Существуют продукты, которые могут подавлять или активировать экспрессию генов. Начало третьего тысячелетия стало для нутрициологии эпохой геномных и постгеномных исследований, благодаря возможности расшифровки геномных, постгеномных (транскриптом, протеом, метаболом) и нейроэндокринных механизмов регуляции гомеостаза пищевых веществ. В современном мире стало возможным определение генетических факторов предрасположенности к алиментарно-зависимым заболеваниям, например, локализован ассоциированный с жировой массой и связанный с регуляцией основного обмена веществ ген *FTO* (*fat mass and obesity*), который кодирует белок, вовлеченный в энергетический обмен и влияющий на метаболизм в целом. Установлено, что некоторые полиморфизмы *FTO* вызывают нарушения липидного,

углеводно-энергетического и белкового обмена, что располагает к развитию метаболического синдрома и ожирения.

Нутригенетика изучает влияние наследственных особенностей обмена веществ в организме на усвоение различных продуктов. Распознаны гены, отвечающие за реакцию организма на конкретный продукт, изучены генетически обусловленные пути жирового, углеводного и белкового обмена, специфичные для разных групп людей.

Нутригенетика предоставляет индивидууму возможность на основе генетического анализа выявить предрасположенность или устойчивость к риску возникновения отдельных алиментарно-обусловленных заболеваний (диабет, остеопороз, сердечно-сосудистые, онкологические заболевания и др.). При этом во внимание принимаются аллельные варианты «генов предрасположенности», участвующих в формировании нутритивного статуса. На основе такого анализа можно предложить оптимальную для этого индивидуума прогностическую систему питания. Так, доктором наук И. А. Никитиным предложена концепция создания продуктов и рационов персонализированного питания на основе принципа нутрициологического купирования экспрессии генов, детерминирующих развитие болезненных состояний, за счет создания условий комфортного физиологического функционирования органов и систем зоны риска. Разработаны технологические решения производства хлебобулочных и кондитерских изделий превентивного действия в отношении болезненных состояний, идентифицируемых на генетическом уровне, в соответствии с матрицей генетических ассоциаций, а также технологии составления персонализированных рационов с применением вышеуказанных специализированных пищевых продуктов и поликомпонентных питательных смесей [178].

Нутригенетика, нутригеномика позволяют раскрыть и понять механизмы пищеварения, всасывания, метаболизма и выяснить функции пищевых веществ в процессах роста, воспроизводства. Эти знания служат базисом для научного обоснования персонализированного питания, а также выявления биомаркеров, позволяющих оценить состояние пищевого статуса человека, и уточнения потребностей в пищевых веществах [142].

Особенностью развития нутрициологии в России является и то, что эта отрасль науки постоянно расширяет свои методические подходы. Если на Западе новые направления нутрициологии (нутригеномика, токсинутригеномика и др.) выделяются в самостоятельные и зачастую не связанные с общей наукой о питании человека отрасли, то в России все

достижения этих новых отраслей медицинской и биологической науки активно внедряются и используются для дальнейшего развития нутрициологии [142].

Нейронутрициология — современное перспективное направление в нутрициологии, изучающее влияние питания на головной мозг, поведение и память, а также центральные механизмы гомеостаза пищевых веществ и энергии. Нейронутрициология находится на стыке неврологии и нутрициологии и исследует влияние экзонутриентов (белков, углеводов, жиров, витаминов, микро- и макроэлементов и др.) и/или их метаболитов на регуляцию обменных процессов в организме. Нормальная работа нервной системы зависит, наряду с передачей нервных импульсов нейронами, и от рациона питания, интенсивности обменных процессов, гормонального фона, что обуславливается взаимосвязью нервных и гуморальных процессов. Одной из главных причин развития алиментарно-зависимых заболеваний является патологическое действие дисбаланса поступающих с пищей экзонутриентов и/или их метаболитов на нейрорегуляторные функции, влияющие на обмен веществ. Потребление гиперкалорийных рационов оказывает влияние на активность серотонинергических и дофаминергических нейронов дугообразного ядра гипоталамуса, что, в свою очередь, влияет на поведенческие реакции (включая пищевое поведение, тревожность и память). В связи с этим важно понимать значимость разработки персонализированной формулы оптимального питания, определяющей индивидуальный пищевой статус индивидуума, для профилактики, коррекции и лечения вышеуказанных алиментарных патологий [132]. В рамках этого направления учеными ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» установлены наиболее чувствительные и специфичные постгеномные молекулярные маркеры, характеризующие индивидуальные особенности патологического процесса алиментарно-зависимых заболеваний (гиперлипидемия, метаболический синдром, цинковый гипозэлементоз и гиповитаминоз, связанный с недостатком витаминов группы В), на основе совместного использования *in vivo* моделей и постгеномных технологий. Разработаны методические рекомендации «Применение молекулярных маркеров при проведении доклинических испытаний на *in vivo* моделях алиментарно-зависимых заболеваний» по использованию выявленных молекулярных маркеров для дифференциальной диагностики, прогноза и персонализации диетотерапии больных вышеуказанными патологиями в клинике и эксперименте [131].

Антропонутициология также является путем к персонализации питания. Как новое научное направление антропонутициология появилась на стыке антропологической анатомии и нутрициологии и направлена на изучение взаимосвязей и взаимовлияний этих двух наук с целью оптимизации физического и пищевого статуса населения и реализации современных высокоэффективных здоровьесберегающих технологий. При этом антропологическая составляющая обеспечивает определение физического статуса каждого конкретного индивидуума и популяции в целом, разработку дифференцированных стандартов физического развития разных групп детского и взрослого населения с учетом многочисленных факторов (возрастных, гендерных, этнотерриториальных и др.). Важен факт наличия генетической и анатомической предрасположенности к развитию конкретной патологии у представителей разных конституциональных типов (соматотипов). Поэтому принадлежность к определенному соматотипу может рассматриваться как маркер повышенной вероятности формирования алиментарно-зависимых заболеваний. С другой стороны, принадлежность к некоторым соматотипам является своеобразным маркером благополучия, указывающим на малую вероятность формирования алиментарно-зависимой патологии. Доказанность наличия подобных конституциональных маркеров позволяет с успехом выявлять группы повышенного риска развития ряда алиментарно-зависимых заболеваний. Для этой категории населения необходимо особое внимание в плане профилактики, что является важным шагом для осуществления персонифицированного подхода к пациенту [181].

Академик В. А. Тутельян и профессор В. М. Позняковский сформулировали основные составляющие формулы питания человека XXI в. (рис. 1.26) [192].

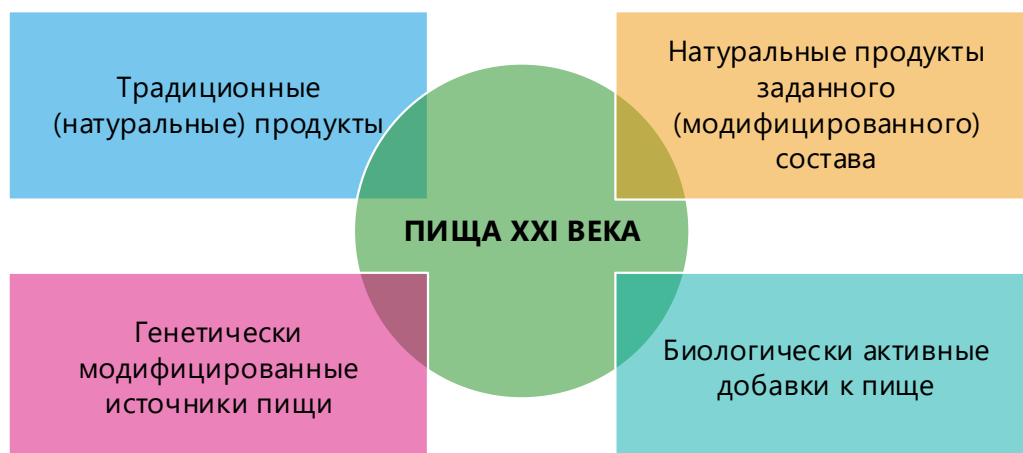


Рис. 1.26. Пища XXI в.

Наблюдаются взаимопроникновение двух наук — нутрициологии и фармакологии, формирование нового научного направления — фармаконутрициологии, основы которой были заложены в трудах академика А. А. Покровского и продолжают развиваться в работах академика В. А. Тутельяна, других его учеников [192].

В последнее время большую актуальность получило изучение роли микробиоты во всех физиологических процессах в организме человека: от процессов пищеварения и усвоения пищевых веществ до метаболизма и функционирования центральной нервной системы и формирования поведенческих реакций. Приоритет в этой ветви нутрициологии — нутримикробиомике — следует отдать кишечному микробиому, который представляет собой совокупность микроорганизмов, активно участвующих в метаболических процессах макроорганизма, формировании и поддержании иммунной системы. С точки зрения нутримикробиомики человек на 10 % состоит из клеток эукариот и на 90 % — из микробных клеток. Микробиом кишечника человека включает в себя 10^{14} микробных клеток. Совокупный микробный геном содержит 3,3 млн кодирующих сиквенсов, в то время как в геноме хозяина (человека) содержится кодирующих сиквенсов менее 30 тысяч. Одной из задач нутримикробиомики является обоснование состава эталонного микробиома, а также поиск путей его коррекции с пищей при алиментарно-зависимых патологиях.

Невозможно развитие нутрициологии без интеграции с пищевыми технологиями, которая даст толчок развитию современных методов

разработки продуктов с заданным химическим составом, специализированных продуктов, а также персонализации рационов.

Примером такой интеграции может служить совместный труд ученых «Института питания и биотехнологии РАН» и «Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН» под названием «Цифровая нутрициология: спектральные портреты меню оптимального питания», где предложен алгоритм расчета величин порций суточного меню блюд в соответствии с нормативами потребления макро- и микронутриентов. Для анализа качества вычислительной обусловленности задачи определения величины порции блюда авторами использованы спектральные портреты матриц нутриентного состава блюд, показывающие точность вычисления спектра матрицы в зависимости от точности элементов матрицы. Такие портреты построены для типичных меню, проведен сравнительный анализ соответствующих нутриентных матриц. Предложен алгоритм выбора блюд и расчета величин их порций, обладающий устойчивостью по макронутриентам. Применительно к задачам цифровой нутрициологии этот алгоритм применен для построения суточного меню блюд на произвольно задаваемый горизонт планирования [190].

Будущее нутрициологии — это *цифровая нутрициология*. В настоящее время появилась возможность создания и более широкого использования математических и информационных технологий и моделей. Цифровая нутрициология обеспечит перевод на язык цифр, с одной стороны, наших физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах и ориентированных на них рационов питания, а с другой — химического состава пищевых продуктов и рационов в целом. Созданные на их основе компьютерные программы позволят легко, быстро и надежно осуществлять разработку максимально персонализированных рационов как для здоровьесбережения детского и взрослого населения, так и для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний. Принципиально важным направлением развития цифровой нутрициологии является возможность программирования через оптимальное питание здоровья будущих поколений, здоровья нации [198].

Цифровая нутрициология — ближайшее будущее науки о питании, актуальность которого признана в академической среде. Цифровая нутрициология — новое научное направление, чье появление отражено в 2018 г. в документах Российской академии наук. Президиум РАН

поручил «Отделению медицинских наук РАН и Отделению математических наук РАН подготовить предложения по формированию нового научного направления "Цифровая нутрициология", предусматривающего цифровую трансформацию данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов, а также создание программ ЭВМ для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию»³².

Развитие цифровой нутрициологии предполагает решение как теоретических, так и практических задач.

В лекции сотрудника ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» доктора наук И. В. Гмошинского перечислены основные задачи цифровой нутрициологии:

- 1) оцифровка антропометрических показателей индивида;
- 2) оцифровка метаболома индивида;
- 3) оцифровка потребностей индивида в нутриентах;
- 4) программа составления персонализированных рационов, соответствующих потребностям индивида;
- 5) контроль за динамикой показателей здоровья;
- 6) оцифровка химического состава пищевых продуктов (вопрос оцифровки химического состава пищевых продуктов будет обсужден далее в главе 3).

Академик В. А. Тутельян и член-корреспондент РАН Д. Б. Никитюк с коллегами конкретизируют эти задачи [190].

1. Первой задачей является цифровая трансформация данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов и создание программного обеспечения для обработки этих данных с целью разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию.

2. Вторая задача состоит в разработке объединенных детерминистических и статистических моделей по особенностям питания с учетом медицинских рекомендаций, прогноза количественного, возрастного изменения структуры населения, экологической обстановки,

³² Постановление Президиума РАН от 27.11.2018 № 178 «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки».

национальных особенностей. Это важно в том числе и для прогнозирования региональных потребностей в необходимых продуктах питания.

3. Третья задача состоит в создании алгоритма автоматического подбора блюд и расчета величины их порций при заданных линейных ограничениях (равенствах и неравенствах), исходя из некоторого не вполне формализуемого принципа оптимальности, что выводит ее из классической области линейного программирования. Формально в этой задаче нет функционала, который надо минимизировать.

ГЛАВА 2

ВОЗМОЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В ВОПРОСАХ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Глава посвящена анализу информационного обеспечения процессов разработки и совершенствования пищевых продуктов.

Описан авторский алгоритм анализа научно-технической литературы при первичной постановке задач проектирования пищевых продуктов и дан пример реализации этого алгоритма с использованием инструментария цифровой экономики.

Приведены известные теоретические принципы создания пищевых продуктов с желаемым комплексом показателей пищевой ценности. Рассмотрены особенности построения этих принципов с точки зрения разных школ/ученых. Изложено предлагаемое авторами монографии формализованное описание этапов системы проектирования рецептур пищевых продуктов, объединяющих классические принципы пищевой комбинаторики с современным инструментарием цифровых технологий.

Проанализированы возможности применения современных систем компьютерной алгебры для проектирования продуктов питания на основе принципов пищевой комбинаторики. Изучены наилучшие доступные цифровые инструменты проектирования рецептур в России и за рубежом, выполнен критический анализ современного программного обеспечения (ПО) по проектированию рецептур. Рассмотрено коммерческое и свободное ПО для разработки и совершенствования поликомпонентных пищевых продуктов. Дано описание цифровых инструментов поиска достоверной информации о нутриентных профилях пищевых продуктов — свободно доступные мировые официальные базы данных по составу пищевых продуктов и сырья. Описаны возможности свободного языка программирования GNU R в совершенствовании пищевых продуктов.

Ключевые слова: алгоритм, цифровизация, проектирование пищевых продуктов, формализация, пищевая комбинаторика, базы данных, нутриентный профиль, программное обеспечение.

2.1. Алгоритм анализа научно-технической литературы при постановке задач проектирования пищевых продуктов

При изучении научно-технической литературы по новой теме на начальном этапе большинство исследователей сталкиваются в массовом порядке с однотипными задачами, в то время как известно, что качественно выполненный поиск информации всегда сопряжен с огромными затратами времени, интеллектуальных и вычислительных ресурсов.

Вместе с тем даже предварительный частотный анализ ключевых слов в изучаемой области весьма информативен. Однако при использовании мощных библиотечных серверов для поиска информации мы столкнулись с парадоксом ключевых слов (рис. 2.1): чтобы грамотно сформулировать запрос (т. е. чтобы не было невозможного для конструктивного анализа числа ссылок либо ссылки по предлагаемым запросам отсутствовали), необходимо в деталях представлять себе структуру проблемной области. Но ведь именно детальное представление и является целью поиска.

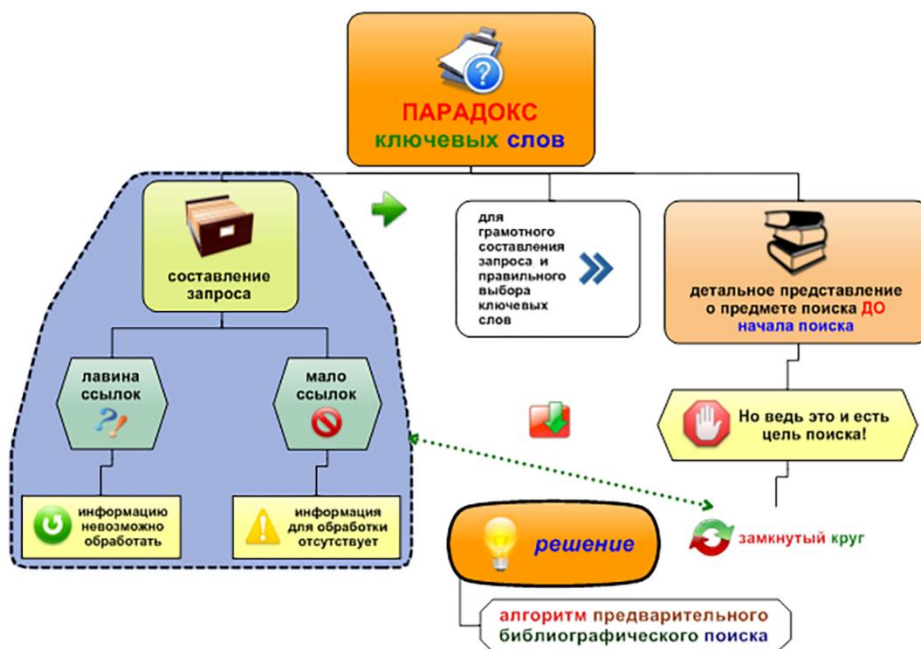


Рис. 2.1. Парадокс ключевых слов

Выход из создавшегося положения, общего для всех исследователей, особенно работающих в новейших областях знаний, мы нашли в [174],

разработав *алгоритм предварительного библиографического поиска* (рис. 2.2), состоящий из трех крупных этапов: 1) контент-анализа; 2) библиометрического анализа; 3) содержательного анализа. Первые два этапа являются нетрадиционными для анализа литературы в пищевой отрасли.

Контент-анализ — количественный анализ текстов с целью последующей содержательной интерпретации выявленных числовых закономерностей. Основная идея контент-анализа проста. При восприятии больших текстовых потоков мы достаточно хорошо ощущаем, что разные компоненты представлены в них в разной степени, причем эта степень поддается измерению: ее мерой служит частота встречаемости. Замысел контент-анализа заключается в том, чтобы систематизировать эти ощущения, сделать их наглядными и проверяемыми и разработать методику целенаправленного сбора текстовых свидетельств, на которых эти ощущения основываются. При этом предполагается, что вооруженный такой методикой исследователь сможет не просто упорядочить свои ощущения и сделать свои выводы более обоснованными, но даже узнать из текста больше, чем хотел сказать его автор. Главной отличительной чертой контент-анализа является его квантитативный характер. Основа контент-анализа — это подсчет встречаемости некоторых компонентов в анализируемом информационном массиве. Отметим, что контент-анализ не отменяет необходимости содержательного анализа документов.

Методике контент-анализа несколько десятков лет, и к настоящему моменту существует многочисленное программное обеспечение для контент-анализа текстов: AntConc concordancer, LEKTA (ЛЕКТА), LF Aligner, TextAnalyst SDK, ATLAS.ti, JFreq, Concordance, LEXIMANCER и др. (рис. 2.3).

Вернемся к алгоритму предварительного библиографического поиска. Обработав с помощью любой из доступных программ контент-анализа массив текста по теме, мы получаем ранжированный список ключевых слов, иными словами, проведем частотный анализ текста. Чем больший массив будет обработан, тем достовернее результаты контент-анализа.

В нашем случае через подобную программу был пропущен текст монографии [175], посвященной поликомпонентным продуктам. Предпосылкой послужили три причины: 1) соответствие теме изучаемого вопроса; 2) существенный объем текста — несколько сотен страниц; 3)

наличие электронной версии документа. В общем случае это могут быть любые научные публикации по изучаемой теме, доступные в электронном виде.



Рис. 2.2. Алгоритм предварительного библиографического поиска



Рис. 2.3. Программное обеспечение для контент-анализа

Для всех слов монографии, включая союзы, глаголы и другие слова, программой была определена частота встречаемости в тексте.

Предположим, нас интересует вопрос: каким именно поликомпонентным молочным продуктам чаще всего посвящены научные публикации? Из полученного частотного ряда отбрасываем служебные

слова, оставляя термины, относящиеся к интересующему вопросу. Далее объединяем лексико-семантические гнезда, т. е. один термин, находящийся в разных словоформах, отбрасываем слова, встречающиеся менее трех раз, в итоге получаем проранжированный частотный ряд ключевых слов анализируемого текста (рис. 2.4).

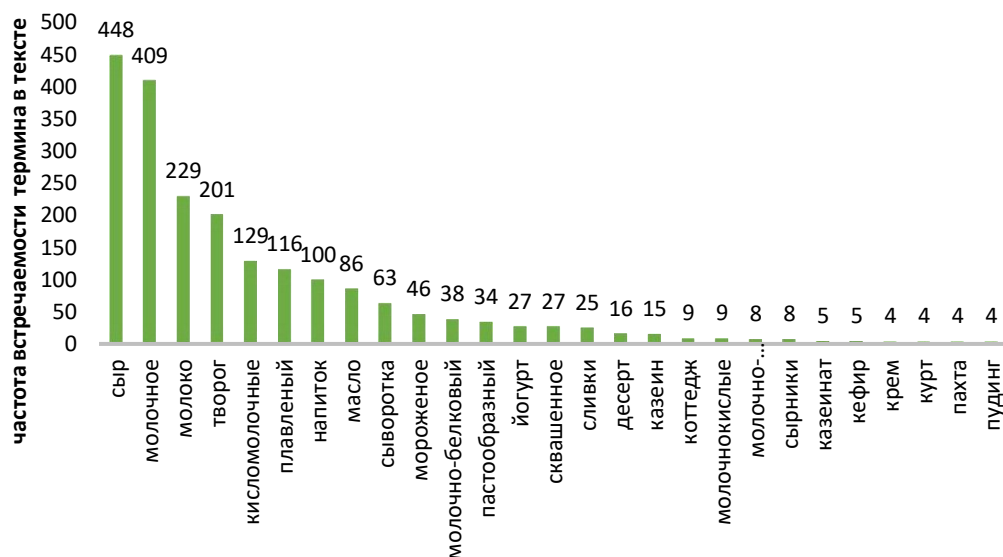


Рис. 2.4. Контент-анализ по ключевым словам

Теперь можно приступать ко второму этапу поиска — библиографическому анализу.

Данный подход позволяет не только получить представление об изучаемом вопросе, но и количественно оценить степень изученности различных аспектов темы, определить перечень изданий крупнейших ученых отрасли, в которых обсуждаются эти аспекты, и ведущие учреждения, работающие над изучаемой темой. Главнейшим итогом является научно обоснованное выявление оптимальных направлений собственных исследований и прикладных разработок.

На данном этапе применяют наукометрический/библиометрический подход, при котором могут быть использованы огромные массивы вторичной информации, представленные в различных базах данных, прежде всего в базах данных библиотек.

Для нашего примера этот подход состоит в определении количества публикаций по теме «Поликомпонентные молочные продукты» путем поиска по ключевым словам, полученным как выходной параметр этапа I.

Использованы ограничения выборок по времени (15-летний срок), но без ограничений типа публикаций и языка оригинала.

В табл. 2.1 показано, как распределены публикации по ключевым словам. В структуре библиографии прежде всего вызывает интерес то, что количество публикаций по сыру в целом сопоставимо с публикациями по сыворотке, а отношение частоты публикаций по напиткам (500) лишь в 2 раза выше частоты публикаций по кефиру (212). В то же время ключевое слово «кисломолочный» в публикациях встречается более трех тысяч раз. Также достаточно часто встречается термин «молочно-растительный», даже чаще, чем «молочно-белковый», количество публикаций по мороженому практически в 4 раза больше, чем по маслу, а термин «йогурт» фигурирует чаще, чем слова «напиток» и «кефир» вместе взятые.

Таблица 2.1

Распределение публикаций по ключевым словам

Термин	Частота	Термин	Частота
Молочное	67 026	Молочно-растительный	250
Молоко	33 833	Молочно-белковый	212
Сыр	10 346	Кефир	212
Сыворотка	9 605	Пахта	164
Мороженое	4 387	Казеинат	156
Кисломолочные	3 190	Крем	103
Казеин	1 314	Десерт	81
Масло	1 060	Пастообразный	40
Молочнокислые	1 043	Сквашенное	32
Творог	745	Пудинг	22
Плавленный	649	Сырники	7
Йогурт	642	Коттедж	6
Напиток	500	Курт	6
Сливки	490		

В рамках библиографического анализа сопоставлено количество отдельных видов молочных продуктов в общей их структуре. Для этого был введен коэффициент K — отношение числа публикаций, посвященных ключевому слову, относящемуся к отдельному виду молочных продуктов, к общему числу публикаций и умноженное на 100 %. В порядке убывания коэффициент K составляет: сыр — 0,31, сыворотка — 0,28, мороженое —

0,12. Для казеина, масла, творога, йогурта, напитков, сливок, кефира K колеблется от 0,01 до 0,03; для пахты, казеина, молочных кремов и десертов $K = 0,002 \dots 0,005$. Мала относительная доля публикаций, упоминающих пудинги, сырники, сыр коттедж, курт, — для них K составляет тысячные доли единицы.

Безусловно, данный подход к оценке актуальности изучаемых проблем зависит от временной динамики прироста публикаций, выступающей как аналог производной в дифференциальных уравнениях. Особенно важен прирост публикаций в последние годы, отражающий концентрацию интереса исследователей на каком-либо аспекте темы.

Библиотечные серверы при поиске по ключевым словам выдают не просто цифру количества публикаций, но и распределение их по авторам, учреждениям, видам публикаций, а также другие сведения библиографического характера и иногда рефераты публикаций. Указанная информация позволяет выявить для исследуемой темы крупнейших ученых, ведущие учреждения и важнейшие периодические издания.

Зная динамику и степень изученности различных аспектов темы, имена авторитетных ученых, учреждения, работающие по актуальной тематике, а также ключевые периодические издания, в которых публикуются результаты таких исследований, можно приступить к этапу III авторского алгоритма — содержательному анализу выборки публикаций, авторы которых, учреждения и наименования изданий уже известны. Таким образом, пара нетрадиционных для пищевой отрасли предварительных этапов при сборе информации о состоянии изучаемого вопроса существенно облегчает и рационализирует выполнение аналитического обзора и формулировку направлений собственных исследований.

2.2. Теоретические принципы создания пищевых продуктов с желаемым комплексом показателей пищевой ценности

Основными элементами здорового питания являются безопасность продуктов, их полноценность, сбалансированность, а также соблюдение режима питания [144]. К настоящему времени мировой науке о питании известны принципы разработки сбалансированной здоровой диеты, рациональные нормы потребления макро- и микроэлементов и теоретические основы совершенствования пищевых продуктов [56–60,

63, 67, 85, 89, 101, 117]. Следующим логическим шагом является создание на основе этих принципов продуктов с комплексом заранее заданных желательных характеристик. Однако для пищевой отрасли это непростая задача, решение которой собственными силами может позволить себе не каждое предприятие. Бюджеты на научно-исследовательские работы всегда ограничены, а исследования по разработке новых продуктов несут высокие риски провала при выведении таких пилотных вариантов продукции на рынок [2, 77, 36, 90, 126]. Разработка и совершенствование пищевых продуктов зависима от рыночного спроса, стоимости производства, законодательных ограничений, вопросов охраны окружающей среды и других факторов [47, 65, 66, 68–72]. С учетом всех этих факторов важно оптимизировать рецептуру продукта до его внедрения в производство, для того чтобы максимально сократить возможный перерасход ресурсов.

В настоящее время существуют различные научно-методические подходы к проектированию рецептур и разработке пищевых продуктов (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классификация подходов к проектированию пищевых продуктов

Система проектирования	Инструмент	Результат проектирования	Ссылки
Оптимизация рецептуры новых и существующих поликомпонентных пищевых продуктов	Полный факторный эксперимент	Спроектированная смесь ингредиентов	[2, 47]
	Метод поверхности отклика	Оптимизированная рецептура	
	Ортогональные массивы Тагути (Тагути)	Оптимизированная рецептура	
Проектирование сбалансированных поликомпонентных пищевых продуктов с желаемым комплексом показателей пищевой ценности	Пищевая комбинаторика	Сбалансированная смесь с оптимальным сочетанием сырьевых ингредиентов	[147, 62, 166, 189, 159, 140, 160, 157]
Расчет рецептур (смесей)	Компьютерные программы	Спроектированные	[25, 45, 46, 172, 104,

		поликомпонентный продукт	107, 162]
--	--	--------------------------	-----------

В подавляющем большинстве случаев пищевые продукты промышленного производства носят поликомпонентный характер и могут быть получены из различного сырья и ингредиентов [13, 74, 78, 81–83, 86–88]. Поэтому справедливо будет заметить, что в рамках данной монографии термин «проектирование или совершенствование пищевых продуктов» относится к процессу создания рецептур (смесей), удовлетворяющих требованиям к конечному продукту по нутриентному составу. Постановка полного факторного эксперимента, построение поверхности отклика, метод ортогональных матриц Тагути (Тагути) — лишь некоторые из многочисленных подходов к разработке рецептур новых продуктов и оптимизации рецептур существующих поликомпонентных продуктов [2].

Большая аналитическая работа по ретроспективному анализу отечественной школы проектирования поликомпонентных пищевых продуктов проведена академиком А. Б. Лисицыным, академиком И. М. Чернухой и кандидатом наук М. А. Никитиной [73]. Первыми российскими учеными, сформулировавшими формализованные принципы математического описания проектирования пищевых продуктов с комплексом заранее заданных потребительских характеристик, были А. М. Бражников и И. А. Рогов [138, 137]. В 1980–1990-е гг. наибольшее развитие получили методы проектирования бинарных систем, поскольку расчет пищевой ценности, в частности аминокислотного профиля продуктов, состоящих из трех и более компонентов, для того этапа развития науки и компьютерной техники представлял значительные трудности. Большой вклад в аналитическое описание проектирования бинарных пищевых систем внес в 1980-е гг. В. А. Шатерников [205]. В начале 1980-х гг. И. А. Рогов и Н. А. Михайлов предложили основные аналитические принципы проектирования комбинированных продуктов на основе моделирования биологической ценности белка, и была разработана комплексная статистическая модель расчета биологической ценности белка, позволяющая определять оптимальные соотношения ингредиентов в комбинированном продукте и корректировать такое соотношение с учетом термической обработки продуктов [137].

Актуальным в российской науке направлением является проектирование рецептур и совершенствование пищевых продуктов,

основанное на принципах пищевой комбинаторики [62, 147, 166, 189]. Принципы пищевой комбинаторики (рис. 2.5) и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания, сформулированы академиком Н. Н. Липатовым (мл.) [158].



Рис. 2.5. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания

Следует отметить, что термин «поликомпонентные, многокомпонентные, комбинированные продукты» отражает не столько

особенности рецептурного состава пищевых продуктов (которые в большинстве случаев многокомпонентны и могут представлять собой комбинацию различных видов сырья, ингредиентов, пищевых добавок и т. д.), сколько специфику используемого для оптимизации рецептурного состава метода комбинаторного перебора количественных долей отдельных ингредиентов в рецептуре с отысканием структуры с требуемым уровнем адекватности — метода пищевой комбинаторики [140].

Для получения желаемого нутриентного профиля проектируемого продукта подход, базирующийся на принципах пищевой комбинаторики, предполагает решение системы уравнений и получение одной или нескольких альтернативных композиций (рецептур продукта). Решение может быть получено за счет изменения соотношения сырьевых компонентов в рецептуре. Система уравнений может включать равенства или неравенства в соответствии с технологическими, законодательными и другими ограничениями. Таким образом, принципы пищевой комбинаторики достаточно гибки и правильно сформулированы, чтобы оставаться актуальными и в настоящее время.

Компьютерное проектирование рецептурного состава пищевых продуктов методически хорошо освоено (рис. 2.6), подкреплено математическим аппаратом и информационной базой, что позволяет в результате проектирования получать набор предпочтительных композиций, удовлетворяющих формализованным требованиям.

Академик А. Б. Лисицын развил представления, сформулированные И. А. Роговым и Н. Н. Липатовым (мл.), и предложил усовершенствованную методику проектирования биологической ценности пищевых продуктов с учетом качества белка и содержания аминокислот в ингредиентах комбинированных продуктов [160].

При разработке продуктов детского, диетического и функционального питания академиком А. Б. Лисицыным предложены научно-методические подходы (рис. 2.7), базирующиеся на постулатах Н. Н. Липатова, И. А. Рогова, А. А. Покровского, В. А. Тутельяна, И. Я. Конь, В. А. Спиричева, А. В. Устиновой, Н. В. Тимошенко и др. Следует отметить, что, по мнению академика А. Б. Лисицына [168], понятие «здоровое питание» для российского и западного исследователя, технолога и диетолога различается. Наиболее близок к западному пониманию термин «здоровые продукты» — это то, что мы называем «органические продукты

(экологически чистые)». Нашему термину «здоровое питание» больше соответствует западный — «функциональные продукты».

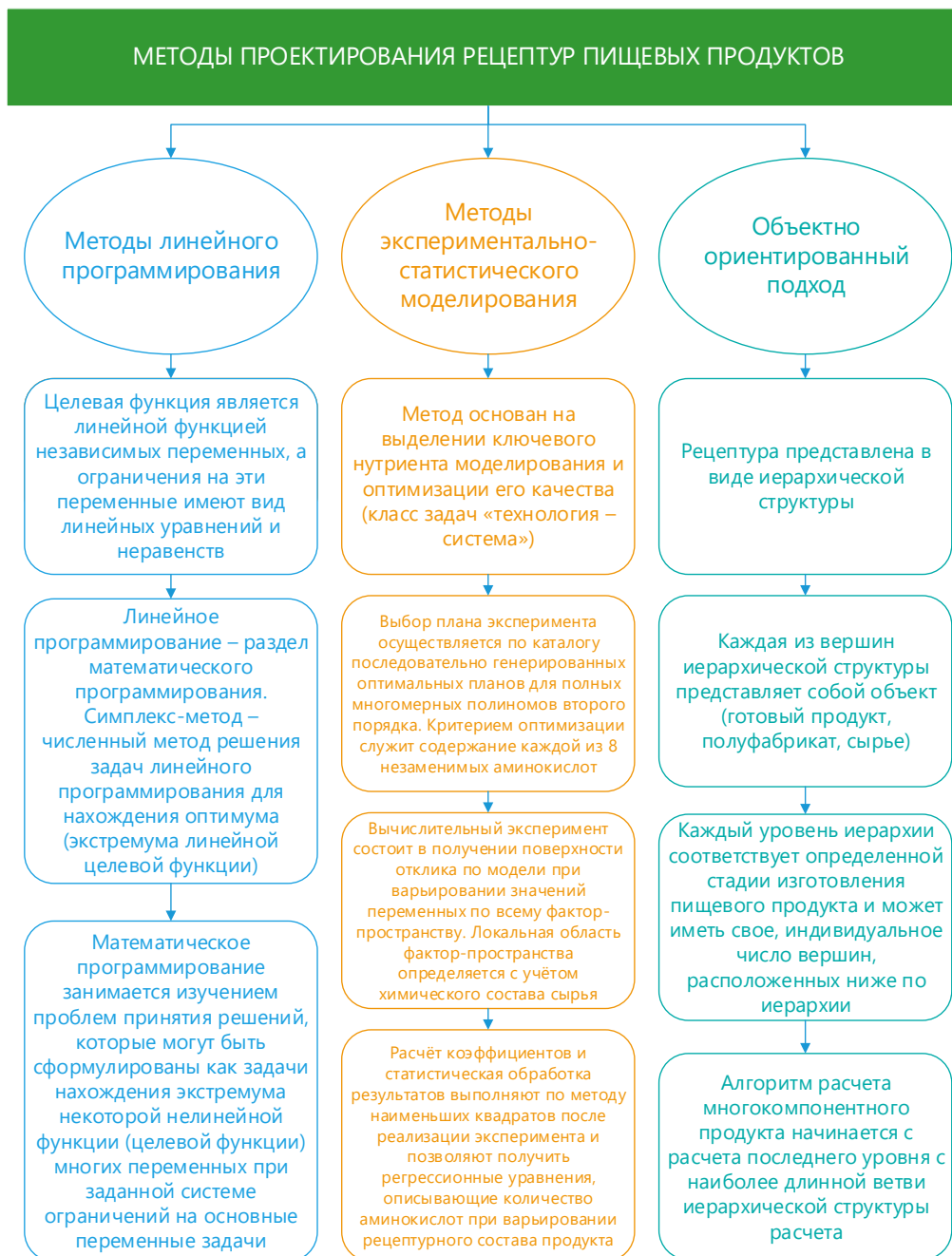


Рис. 2.6. Классификация методов проектирования рецептур многокомпонентных пищевых продуктов, по А. Б. Лисицыну [167]



Рис. 2.7. Научно-методические подходы создания мясных продуктов здорового питания для детей, по А. Б. Лисицыну [164]

Профессор Ю. А. Ивашкин объединил подходы, основанные на структурной и параметрической оптимизации, включающей расчет возможных отклонений от эталонных величин. Структурная оптимизация состоит в определении оптимальных структурных параметров рецептуры. Основная идея Ю. А. Ивашкина с коллегами [141, 145, 146] заключается

в применении многокритериальной оптимизации поликомпонентных продуктов (с учетом пищевой и биологической ценности) путем симуляционного моделирования в соответствии с желаемыми конечными характеристиками продукта и учетом состава исходного сырья. При этом используются системы линейных и нелинейных уравнений и неравенств, позволяющие получить все возможные комбинации сырьевых ингредиентов в рецептуре, удовлетворяющие ограничениям и заранее заданным критериям качества конечного продукта. При проектировании продукта предлагается использовать оптимизацию по единичным критериям с попарным сравнением и оценкой качества конечного продукта по функционалу качества и шкалам желательности.

Профессор А. Е. Краснов с коллегами для разработки пищевых продуктов желаемого качества применяет моделирование рецептурных смесей в условиях информационной неопределенности. Основные идеи обобщены в книге «Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности: Системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования» [154].

Профессор А. А. Борисенко предложил использовать универсальные математические методы для оптимизации поликомпонентных пищевых систем с заранее заданным нутриентным профилем. Предложено опираться на теорему Лагранжа в обобщенном виде на случай задач оптимизации с ограничениями в виде неравенств, т. е. на теорему Куна — Таккера. При этом учитываются как ограничения, так и допустимые отклонения массовых долей нутриентов от эталона. Решение такого класса задач дает наиболее сбалансированную композицию нутриентов в виде вектора массовых долей компонентов [133, 12].

Профессор О. Н. Красуля с коллегами предлагает методологию проектирования поликомпонентных продуктов на основе учета функционально-технологических свойств сырья, а также кинетики биохимических и коллоидных процессов, аналитических и эмпирических зависимостей поведения гетерогенных дисперсных систем под влиянием физико-химических факторов [155, 156].

Доцент Е. И. Муратова с коллегами предложила объектно ориентированный подход к проектированию комбинированных пищевых продуктов. При этом рецептура продукта представлена как иерархическая структура в соответствии с методом анализа иерархий, разработанным Т. Тагути (США) в 1970-е гг. Метод состоит в декомпозиции проблемы

на более простые составляющие части и попарном сравнении их приоритетов. Применение объектно ориентированного подхода к расчету рецептур позволит решать задачи многокритериальной оптимизации [115, 172].

Помимо объектно ориентированного подхода, проектирование поликомпонентных продуктов может реализоваться с использованием методов линейного или статистического программирования. Так, доценты М. А. Бугаец и М. С. Конева предложили использовать нейросетевой и регрессионный анализ зависимости рейтинговой оценки органолептических показателей от состава пищевой системы. При этом задействована мультипликативная функция желательности и возможности современных систем компьютерной алгебры — программы Statistica и PTC MathCAD [64].

Доцент Н. А. Березина с коллегами с помощью Object Pascal разработала программу для проектирования хлебопекарных смесей для геродиетического питания. Технологическая адекватность хлебопекарной смеси смоделирована на основе «числа падения» по Хагбергу — Пертену, характеризующего активность амилазы в зерне и муке из мягкой или твердой пшеницы и ржи. Моделирование состава готовых мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий осуществлено методом симплекс-решетчатого планирования [9].

Профессор Н. А. Чернуха и доцент М. А. Никитина обосновали применение метода Парето для многокритериальной оптимизации рецептурного состава пищевого продукта в различных постановках для различных критериев пищевой, биологической, энергетической ценности, аминокислотного, жирно-кислотного, витаминного и минерального состава. Ими введено понятие «Парето-оптимального множества решений» как множества недоминируемых альтернатив [179].

Доктором наук И. А. Никитиным с коллегами предложено собственное видение применения методов математического моделирования в организации продовольственного обеспечения населения на принципах персонализированного питания. Для более эффективного описания характеристик и возможности сравнения между собой продуктов персонализированного питания, а также функциональных и специализированных продуктов они предлагают ввести количественный показатель функциональности, что позволит говорить об «эффективной функциональности» пищевого продукта и определять ее в безразмерной

величине, называемой обобщенным комплексным показателем эффективности верхнего (или нулевого) уровня [178, 95, 54, 94].

Доктор технических наук О. Н. Мусина и профессор П. А. Лисин в ряде публикаций изложили свое видение методологии системного моделирования поликомпонентных пищевых продуктов [91, 163, 176, 92]. Системное моделирование можно определить как стратегию изучения и создания биосистем, частным случаем которых являются продукты питания, их рецептуры и технологии производства. Важнейшим прикладным аспектом системного моделирования становится возможность проектирования рецептур многокомпонентных пищевых продуктов различного назначения. Основным принципом системного моделирования является декомпозиция сложной биосистемы на более простые подсистемы. Этот принцип называют принципом иерархии системы. Все подсистемы взаимодействуют между собой и составляют единую математическую модель. Системное моделирование включает разработку моделей, регламентирующих все этапы создания продуктов заданного качества и представляющих собой с точки зрения математики систему линейных алгебраических балансовых уравнений, отражающих изменения в составе ингредиентов, на которых они разрабатываются. Наличие данной системы позволяет адекватно описывать изменение химического, витаминного, минерального и других составов моделируемых продуктов питания в зависимости от соотношения и норм используемых сырьевых компонентов, что дает возможность заменить эмпирическое создание продуктов анализом и синтезом его математической модели. Поставленная задача решается путем целенаправленного варьирования количественными соотношениями ингредиентов. Совокупность связей элементов друг с другом, обеспечивающих целостность системы, называют ее структурой. Модель структуры в простейшем виде представляет собой список существенных для решения конкретной задачи отношений. Так, при моделировании рецептуры многокомпонентного пищевого продукта не учитываются потери ингредиентов при движении по массопроводам, хотя объективно такие потери существуют. В то же время потеря пищевой ценности при механической или термической обработке ингредиентов (разница в массе брутто и нетто, деструкция витаминов и т. п.) может быть учтена. Системное моделирование многокомпонентных продуктов включает учет следующих аспектов:

1) *системно-элементного*, предполагающего изучение ингредиентов, составляющих данный продукт; в рецептуру продукта ингредиенты вносят специфические индивидуальные свойства;

2) *системно-структурного*, заключающегося в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы и позволяющего получить информацию об изменении физико-химических, структурно-механических, органолептических и других свойств моделируемого продукта;

3) *системно-функционального*, предполагающего выявление функций, для выполнения которых созданы и существуют соответствующие системы, а также роли ингредиентов в изменении функциональности моделируемого продукта;

4) *системно-целевого*, означающего необходимость научного определения целей и подцелей системы, их взаимодействия между собой;

5) *системно-ресурсного*, заключающегося в выявлении ресурсов, позволяющих достичь целей моделирования;

6) *системно-интеграционного*, состоящего в определении совокупности качественных свойств моделируемого продукта, обеспечивающих функциональные свойства пищевого продукта.

2.3. Формализованное описание этапов системы проектирования рецептур пищевых продуктов

Проектирование комбинированных пищевых продуктов основано на принципе пищевой комбинаторики, т. е. на процессе создания рецептур новых видов продуктов путем обоснованного количественного подбора основного сырья, ингредиентов, пищевых и биологически активных добавок, совокупность которых обеспечивает формирование требуемых органолептических, физико-химических свойств продукта, а также заданный уровень пищевой, биологической и энергетической ценности [141].

В современном мире использование инструментария цифровой экономики при разработке и совершенствовании пищевых продуктов — явление не только закономерное, но и абсолютно необходимое.

Рассмотрим этот тезис на примере проектирования рецептуры пищевого продукта.

Если такой продукт состоит всего лишь из двух рецептурных ингредиентов, оптимизировать его состав можно без привлечения программного обеспечения (рис. 2.8). Стоит чуть усложнить задачу, и трудоемкость решения возрастает в геометрической прогрессии.

Дано: молочное сырье (I), в котором содержание кальция (Ca) и фосфора (P) соответственно равны α и β , и зерновое сырье (II), в котором содержание кальция и фосфора соответственно равны γ и δ .

Найти: рецептуру молочно-зерновой смеси, в которой содержание кальция и фосфора будет равно соответственно η и μ , для чего потребуется x кг молочного сырья и y кг зернового сырья.

Решение.

Доля нутриентов A и B в сырье I соответственно равна $\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ и $\frac{\beta}{\alpha+\beta}$.

В сырье II доли этих нутриентов будут соответственно равны $\frac{\gamma}{\gamma+\delta}$ и $\frac{\delta}{\gamma+\delta}$.

Из сырья I и II берем соответственно по x и y кг и объединяем, в результате чего в получаемой смеси III (молочно-зерновом продукте) содержание нутриентов A и B соответственно будут равны $\frac{\frac{\alpha}{\alpha+\beta} \cdot x + \frac{\gamma}{\gamma+\delta} \cdot y}{x+y} = \eta$; $\frac{\frac{\beta}{\alpha+\beta} \cdot x + \frac{\delta}{\gamma+\delta} \cdot y}{x+y} = \mu$.

$$\left. \begin{array}{l} \text{I A: } \alpha \frac{\alpha}{\alpha+\beta}; x \\ \text{B: } \beta \frac{\beta}{\alpha+\beta}; x \\ \text{II A: } \gamma \frac{\gamma}{\gamma+\delta}; y \\ \text{B: } \delta \frac{\delta}{\gamma+\delta}; y \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta} x + \frac{\gamma}{\gamma+\delta} y \right)}{x+y} = \frac{\eta}{\mu} \quad \begin{array}{l} \text{A: } \eta \\ \text{B: } \mu \end{array} \text{ III}$$

$$\text{Отсюда } \frac{x}{y} = \frac{\left(\frac{\delta\eta - \gamma\mu}{\gamma+\delta} \right)}{\left(\frac{\alpha\mu - \beta\eta}{\alpha+\beta} \right)} \Rightarrow \frac{x}{y} = \frac{(\alpha+\beta) \times (\delta\eta - \gamma\mu)}{(\gamma+\delta) \times (\alpha\mu - \beta\eta)}.$$

Ответ. Величины α , β , γ , δ , η и μ известны по условию задачи, соотношение частей молочного и зернового сырья x и y найдены.

Рис. 2.8. Схема решения задачи по оптимизации двухкомпонентной смеси по двум нутриентам³³

³³ Мусина О. Н. Научные и прикладные аспекты целевого комбинирования сырья в производстве поликомпонентных молочных продуктов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 / Мусина Ольга Николаевна. Екатеринбург, 2018. 470 с.

Основная задача при расчете рецептур пищевых продуктов — это поиск наилучшей комбинации количественных характеристик смеси. Например, наилучшая (оптимальная) комбинация ингредиентов смеси может означать поиск минимальной стоимости смеси при соблюдении максимального соответствия нутриентов смеси заранее заданному эталону (технологическим ограничениям, стандарту на продукт, диетическим пожеланиям и т. п.). Поиск такой комбинации «вручную» расчетными методами без использования специализированного программного обеспечения — сложнейшая и ресурсоемкая задача.

Наиболее трудоемкий и максимально длительный путь решения рецептурных задач — использование метода проб и ошибок (метод перебора). Предположим, что мы хотим установить влияние количества ингредиентов x_i ($i = 1, \dots, k$) в смеси на содержание лишь одного нутриента u в пищевом продукте. Для упрощения задачи в ходе такого эксперимента содержание каждого рецептурного ингредиента в смеси будем изменять только на двух уровнях — максимуме и минимуме (верхний и нижний уровни). Для решения такой задачи классическим экспериментальным путем без использования инструментария цифровой экономики необходимо спланировать все возможные сочетания факторов (в данном случае — содержание ингредиента в рецептуре) на указанных двух уровнях и для каждой единичной комбинации факторов провести инструментальное измерение содержания нутриента u в пищевом продукте. Иными словами, такой подход требует реализации «полного факторного эксперимента 2^k » (ПФЭ 2^k). Как известно, план ПФЭ 2^k предполагает перебор всех возможных комбинаций факторов x_i на двух уровнях (табл. 2.3).

Таблица 2.3

План полного факторного эксперимент
для рецептуры из трех ингредиентов x_i

Номер эксперимента	Уровень фактора		
	x_1	x_2	x_3
1	max	max	max
2	min	max	max
3	max	min	max
4	min	min	max
5	max	max	min
6	min	max	min

7	max	min	min
8	min	min	min

Если количество ингредиентов в рецептуре возрастает хотя бы до четырех, уже потребуется реализовать 16 опытов по инструментальному измерению содержания нутриента у в пищевом продукте, пять рецептурных ингредиентов потребуют уже 32 эксперимента, шесть ингредиентов — 64 эксперимента и т. д. (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Необходимое число экспериментов при расчете рецептуры пищевого продукта методом перебора

Количество факторов (например, количество сырьевых ингредиентов в рецептуре)	Необходимое количество экспериментов (количество всех возможных комбинаций факторов на верхнем и нижнем уровнях)
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
9	512
10	1 024
11	2 048
12	4 096
13	8 192
14	16 384
15	32 768
16	65 536
17	131 072
18	262 144
19	524 288
20	1 048 576
21	2 097 152
22	4 194 304
23	8 388 608

Количество факторов (например, количество сырьевых ингредиентов в рецептуре)	Необходимое количество экспериментов (количество всех возможных комбинаций факторов на верхнем и нижнем уровнях)
24	16 777 216
25	33 554 432
26	67 108 864
27	134 217 728
28	268 435 456
29	536 870 912
30	1 073 741 824

Таким образом, необходимое количество экспериментов при оптимизации рецептуры пищевого продукта возрастает экспоненциально вместе с ростом количества ингредиентов в смеси (рис. 2.9). Количество возможных комбинаций факторов описывается уравнением $n = 2^k$, где k — это количество ингредиентов в рецептурной смеси.

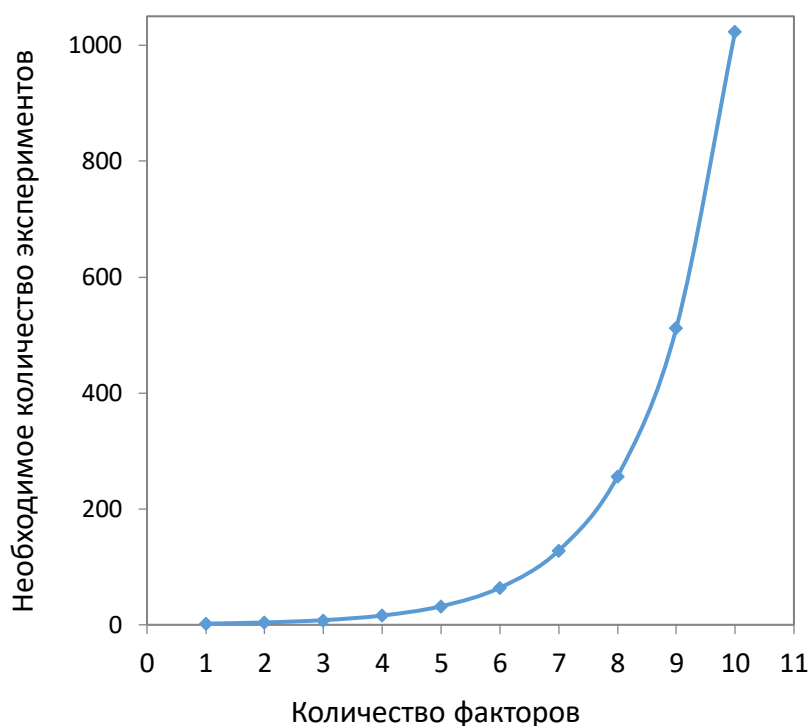


Рис. 2.9. Экспоненциальный рост необходимого количества экспериментов в зависимости от увеличения количества факторов от 1 до 10

В то же время в реальных производственных или научных условиях количество рецептурных ингредиентов в смеси может достигать нескольких десятков и более. В таком случае необходимое количество экспериментов экспоненциально растет и достигает миллионов. Следовательно, нахождение рецептуры поликомпонентной смеси (комбинации факторов) с максимальным приближением к эталонным требованиям по нутриентному составу и при этом по минимальной стоимости — практически невероятная миссия. Таким образом, решение подобной задачи методом перебора комбинаций факторов — громоздкий, длительный и неуклюжий способ. Современный инструментарий цифровой экономики располагает гораздо более элегантными методами.

В современном мире для проектирования рецептур пищевых продуктов с комплексом заранее заданных свойств используют возможности информационных баз данных, применяют методы дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализа, аппарата нечетких множеств.

Учеными РАСХН и Московского государственного университета прикладной биотехнологии под руководством академика И. А. Рогова разработаны теоретические основы компьютерного проектирования пищи, с использованием которых они создали и освоили производство нового поколения продуктов питания общего, диетического, профилактического и функционального назначения. При этом разработаны методология и алгоритмы моделирования многокомпонентных смесей на основе математического программирования, а также модели и методы расчета важнейших функционально-технологических свойств рецептурных смесей пищевых продуктов. Эта работа удостоена Государственной премии Российской Федерации [168].

Для оптимизации рецептур пищевых продуктов И. А. Роговым, Н. Н. Липатовым, А. Б. Лисицыным, Ю. А. Ивашкиным были предложены расчетные формулы, критерии и понятия. Профессором Ю. А. Ивашкиным с коллегами предложена математическая модель структурной оптимизации колбасного производства с возможностью дополнения ограничений на отдельные вспомогательные компоненты рецептуры, стабилизирующие выход, состав и качество продукта [145].

Концепция моделирования и оптимизации, сформулированная в трудах академика В. В. Кафарова, связана с прогнозированием качества продуктов переработки сырья со случайными характеристиками и свойствами [167, 154, 182].

Начальная неопределенность объясняет сложность принятия решений с целью обеспечения качества продукции по критериям пищевой и биологической ценности и обусловлена разбросом показателей и свойств сырья биологического происхождения. В работах профессора Ю. А. Ивашкина показано, что неопределенность может быть охарактеризована величиной энтропии [145, 146]:

$$H(\Delta z_x) = - \sum_{j=1}^{\mu} \cdot \sum_{k=1}^{\gamma} \cdot \sum_{r=1}^R P(\Delta z_x^{jkr}) \log_2 P(\Delta z_x^{jkr}),$$

где $P(\Delta z_x^{jkr})$ — вероятность r -го уровня отклонения k -го показателя в j -м виде биологического сырья.

Основная задача предприятия пищевой отрасли — получение продукции заданного качества. Академик А. Б. Лисицын с коллегами предложил представить целевую функцию управления качеством в виде иерархии параметров и показателей, отражающих динамику формирования качества производимых продуктов [167]:

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} \dots \sum_{k=1}^{k_{ij}} d_{ij\dots k} \Delta x_{ij\dots k}^*,$$

где a_i , b_{ij} , $d_{ij\dots k}$ — коэффициенты значимости физико-химических, функционально-технологических, сенсорных показателей и структурно-механических свойств, характеризующих качество продукции, определяемые методом экспертных оценок и регрессионного анализа;

$\Delta x_{ij\dots k}^*$ — нормативная величина отклонения k -го показателя некоторой группы.

Для сопоставимого анализа влияния различных физико-химических факторов на качество продукции нормированные величины отклонений параметров от заданных значений А. Б. Лисицын с коллегами предлагает определять по формуле

$$\Delta x_{ij\dots k}^* = \left| \frac{x_{ij\dots k}^0 - x_{ij\dots k}}{\Delta x_{ij\dots k}^0} \right|,$$

где $x_{ij...k}^0$, $x_{ij...k}$ — заданное и текущее значения k -го показателя j -й группы факторов i -го продукта;

$\Delta x_{ij...k}^0$ — допустимое отклонение параметров от заданного значения.

Проектирование пищевых продуктов с заданной пищевой ценностью заключается в минимизации отклонений проектируемой рецептуры от эталона:

$$P(z) = \sum_{i=1}^n \left(z_i^0 - \sum_{j=1}^m b_{ij} x_j \right)^2 \rightarrow \min,$$

где x_j — массовая доля j -го рецептурного компонента;

b_{ij} — удельное содержание i -го нутриента в j -м рецептурном компоненте проектируемого продукта, %;

z_i^0 — желаемое (заданное или эталонное) содержание i -го нутриента в пищевом продукте, %.

Моделирование — одно из фундаментальных понятий теории информации, на которой базируется любой метод научного исследования (познания). В настоящее время применительно к техническим наукам различают следующие виды моделирования [180]:

1) *концептуальное моделирование*, при котором совокупность уже известных фактов или представлений относительно исследуемого объекта или системы интерпретируется с помощью некоторых специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественного или искусственных языков;

2) *физическое моделирование*, при котором модель и моделируемый объект представляют собой реальные объекты или процессы единой или различной физической природы, причем между процессами в объекте-оригинале и в модели выполняются некоторые соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;

3) *структурно-функциональное моделирование*, при котором моделями являются схемы (блок-схемы), графики, чертежи, диаграммы, таблицы, рисунки, дополненные специальными правилами их объединения и преобразования;

4) *математическое (логико-математическое) моделирование*, при котором моделирование, включая построение модели, осуществляется средствами математики и логики;

5) *имитационное (программное) моделирование*, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

Полученные методом экспериментально-статистического моделирования математические модели и графическая интерпретация расчетов в виде изолиний позволяют на практике прогнозировать количество каждой незаменимой аминокислоты в проектируемом продукте при выбранном соотношении рецептурных компонентов. В ряде случаев положительный эффект от экспериментально-статистического моделирования тем сильнее и значительнее, чем сложнее биохимические и физико-химические процессы или, иначе говоря, чем меньше изученность составных частей предмета исследования. Недостатком этого подхода является необходимость проведения большого количества экспериментов, в частности биохимических анализов. Исследования зачастую относятся к узким диапазонам изменения параметров и не учитывают неправомочность переноса результатов лабораторных исследований на промышленный масштаб [172].

Преимуществом объектно ориентированного подхода является возможность решения задачи многокритериальной оптимизации.

Профессорами Московского государственного университета прикладной биотехнологии О. В. Сатиной и С. Б. Юдиной [194] предложено разбить моделирование рецептур мясных продуктов для геронтологического питания на три этапа: 1) моделирование аминокислотного состава белка проектируемого продукта; 2) оценка жирнокислотного состава проектируемого продукта; 3) оценка углеводного, витаминного и минерального состава, расчет энергетической ценности рецептурных композиций. При этом процесс моделирования геронтологических продуктов осуществлялся авторами по циклическому алгоритму, предложенному академиком Н. Н. Липатовым (мл.).

В качестве критерия использовалась квалитетическая мультипликативная модель, позволяющая свести в одну формулу относительные комплексные и простые единичные показатели качества

различного характера, обеспечивающие независимость свойств каждого из показателей:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i},$$

где D — обобщенный критерий моделирования, $D \in [0,1]$;

d_i — частные критерии по каждому из i -х факторов.

Частный критерий d_i — относительный коэффициент, принимающий значения от 0 до 1 в зависимости от значения фактора (массовой доли компонента, входящего в рецептуру).

Для нахождения частного критерия используется функция желательности Харрингтона. Фактор моделирования преобразуется в безразмерную величину, которая выступает показателем соответствия его значения эталону. Значения функции Харрингтона группируются в шкалы желательности: очень плохо — $d \in [0,2-0,37]$; удовлетворительно — $d \in [0,37-0,63]$; хорошо — $d \in [0,63-0,8]$; отлично — $d \in [0,8-1]$.

Профессором Северо-Кавказского федерального университета А. А. Борисенко (мл.) [133, 134, 135, 136, 12, 204] показан на базе математических моделей и рекурсивного цикла алгоритм моделирования поликомпонентных смесей, обеспечивающих получение необходимого набора вариантов и их состава по критерию макро- и микронутриентного состава. Для разработки рецептов новых продуктов и оценки сбалансированности их аминокислотного, жирнокислотного, макро-, микроэлементного, витаминного составов А. А. Борисенко предложил программный комплекс «Etalon», реализующий алгоритм рекурсивного цикла и предусматривающий применение специализированной реляционной базы данных для хранения промежуточных результатов оптимизации.

Профессор О. Н. Красуля предложила модель математического программирования с нечеткими ограничениями потребительских свойств продуктов и целевыми функциями, оптимизация которых достигается на основе введения добавок направленного действия с обоснованием принципов математического моделирования технологий мяса и мясных продуктов при нечетком характере их описаний для оценки

перспективности технологических и технических решений в мясной промышленности [156].

Профессором Омского государственного аграрного университета П. А. Лисиным предложено для оптимизации рецептур молочных продуктов использовать матричный метод, основанный на линейном программировании [162].

Метод последовательного улучшения плана (симплекс-метод) — универсальный метод решения задач линейного программирования, т. е. любая задача линейного программирования решается (реализуется) этим методом. В основе симплексного метода лежит алгоритм симплексных преобразований системы, дополненный правилом, обеспечивающим переход не к любому, а к лучшему опорному решению. Следовательно, вначале получают допустимый вариант, удовлетворяющий всем ограничениям, но необязательно оптимальный (начальное опорное решение), а оптимальность достигается последовательным улучшением исходного варианта за определенное число этапов (итераций).

В молочной промышленности применение симплекс-метода рассматривали Ю. П. Маркин и Ю. А. Ивашкин. Для реализации симплексного метода применяют либо специально написанные программы (KSIMP, ESIMP, ISIMP), либо пакеты универсальных математических программ (MathCAD, Maple). Средство поиска решений Microsoft Excel использует алгоритм нелинейной оптимизации Generalized Reduced Gradient, разработанный Л. Ласдоном и А. Уорреном. Алгоритмы симплекс-метода для решения линейных и целочисленных задач с ограничениями разработаны Дж. Уотсоном и Д. Филстра [162].

Сложность решения многокомпонентной рецептурной задачи заключается в том, что зачастую при проектировании используется большое количество ингредиентов. Решение системы линейных уравнений и неравенств при большом числе переменных вручную представляет значительные трудности, при которых не исключены ошибки расчета. Поэтому расчет рецептуры поликомпонентного продукта без использования современных компьютерных технологий требует значительных затрат времени, приводит к потере оперативности управления и снижению рентабельности производства. Обобщение совокупности научно-технической информации, а также собственные исследования авторов также подтверждают, что повышение степени адекватности состава композиций и решение рецептурной задачи

эффективно может быть получено только с использованием современных возможностей математических пакетов программ [173].

Суть принципа оптимальности состоит в нахождении такого решения $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_j ($j = \overline{1, n}$) — его компоненты, которое наилучшим образом учитывало бы критерии оптимальности. Критерии оптимальности: минимальная себестоимость, минимальная энергетическая ценность, максимум содержания нутриента и др. Кроме того, накладывается ряд условий φ , т. е. выбор $\bar{X}$ осуществляется из некоторой области возможных (допустимых) решений D .

Таким образом, реализовать принцип оптимальности — это значит, решить задачу вида: $\max(\min) f(\bar{X})$, $\bar{X} \in D$, где $f(\bar{X})$ — целевая функция (математическая запись критерия оптимальности).

При решении системы линейных балансовых уравнений прикладной, производственный интерес представляет (в математической терминологии) неопределенная система, т. е. множество неотрицательных решений. С технологической точки зрения это означает нахождение множества вариантов рецептов продукта, соответствующих заранее заданным требованиям. Таким образом, задачу условной оптимизации можно записать в виде

$$\begin{aligned} & \max(\min) f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & \text{при ограничениях } (x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \geq, =, \leq \} b_i, \quad i = \overline{1, m} \\ & x_j \geq 0, \quad (j = \overline{1, n}). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Задача инженера-технолога заключается в том, чтобы из данного множества выбрать рецептуру с наиболее рациональными параметрами (минимальной себестоимостью, высокими качественными показателями, минимальной энергетической ценностью, комплексным использованием составных частей ингредиентов и т. п.). Иными словами, требуется найти экстремум (минимум или максимум) линейной целевой функции $f(\bar{X})$. Задачу проектирования можно интерпретировать как задачу об оптимальном использовании ограниченных ресурсов.

Например, при проектировании поликомпонентного продукта с минимальной себестоимостью Π математическая запись задачи примет вид

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n \Pi_j \cdot x_j \quad (2.2)$$

при функциональных ограничениях (условиях):

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n \{<,=,>\} b_1, \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n \{<,=,>\} b_2, \\ \dots \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{mn} \cdot x_n \{<,=,>\} b_m, \end{aligned}$$

и прямом ограничении:

$$x_j \geq 0, b_m \geq 0 \quad (j=\overline{1, n}, i=\overline{1, m}),$$

где a_{ij} , b_i , ($i=\overline{1, m}$; $j=\overline{1, n}$) — характеристики сырья, например содержание макронутриентов.

В векторной форме:

$$\min f(\overline{X}) = \Pi X \quad (2.3)$$

при ограничениях:

$$A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + \dots + A_n \cdot x_n = B, x_j \geq 0, B \geq 0,$$

где $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n)$, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,

ΠX — скалярное произведение векторов Π , X ;

$$A_j \text{ и } B \text{ — вектор-столбцы: } A_1 = \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \dots \\ a_{m1} \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ \dots \\ a_{m2} \end{pmatrix}, \dots, A_n = \begin{pmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ \dots \\ a_{mn} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix}.$$

Уточним, что в данной работе логические построения, используемые для подобной формализации, выполнены с допущением, что технологическая обработка сырья принципиально не изменяет его химического состава.

В основе решения рецептурной задачи положен фундаментальный закон — закон сохранения массы:

$$\sum_{i=1}^n x_i = M, \quad (2.4)$$

где M — масса поликомпонентного продукта, кг;

$x_{i...n}$ — масса рецептурных компонентов, кг.

Массовые доли S (%) минорных нутриентов, влаги, пищевых волокон рассчитываются по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot s_i) / \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.5)$$

где s_i — массовая доля нутриента в i -м рецептурном компоненте, %.

При проектировании рецептуры поликомпонентного продукта следует:

- 1) составить *информационный банк данных* рецептурных компонентов;
- 2) на основании банка данных составить *балансовые уравнения* для проектируемого конечного продукта (например, по содержанию белка, энергетической ценности, себестоимости);
- 3) задать *ограничительные условия* (например, по требованиям технологической документации, на использование отдельных видов рецептурных компонентов);
- 4) определить *функцию цели* для проведения оптимизации рецептуры (например, энергетическую ценность поликомпонентного продукта по формуле

$$f(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n e_i x_i \rightarrow \min, \quad (2.6)$$

где f — целевая функция;

e_i — энергетическая ценность i -го рецептурного компонента, ккал/100 г;

- 5) *решить* поставленную задачу универсальными методами линейного программирования, в частности симплексным;

6) *проанализировать* с технологической, органолептической и экономической сторон варианты рецептов и *выбрать* (например, с помощью экспериментальных выработок) тот, который наиболее полно отвечает поставленным целям.

Следует отметить, что в практической деятельности часто встречаются задачи, требующие поиска лучшего решения при наличии различных, не сводимых друг к другу критериев оптимальности — задачи многокритериальной оптимизации. Например, при проектировании поликомпонентного молочного продукта нужно учитывать такие зачастую противоречивые факторы, как количество и соотношение незаменимых аминокислот, сбалансированность по жирным кислотам, невысокая энергетическая цен-

ность, минимальная себестоимость, определенное количество пищевых волокон, ограниченное технологически или органолептически содержание растительных компонентов и многие другие. Иными словами, имеется несколько целей, которые не могут быть отражены одним критерием (например, максимальное содержание белка или минимальная себестоимость).

Обозначим i -й частный критерий через $Z(\bar{X})$, где $\bar{X}$ – допустимое решение, а область допустимых решений — через Q . Поскольку изменением знака функции при необходимости можно свести задачу минимизации к задаче максимизации, то задачу многокритериальной оптимизации можно записать следующим образом:

$$Z(\bar{X}) = \langle Z_1(\bar{X}), Z_2(\bar{X}), \dots, Z_m(\bar{X}) \rangle \rightarrow \max, \bar{X} \in Q. \quad (2.7)$$

Некоторые частные критерии могут противоречить друг другу, другие — действуют в одном направлении, третьи — индифферентны друг к другу.

Для выхода из подобной ситуации приходится идти на компромиссы: оптимизация одного, признанного наиболее важным критерия, остальные критерии при этом играют роль дополнительных ограничений (этот подход реализован авторами в программе «Минимум-Максимум», № 2010612628); упорядочение заданного множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них.

Вообще говоря, в идеальном случае можно вести поиск такого решения, которое принадлежит пересечению множеств оптимальных решений всех однокритериальных задач. Однако известно, что такое пересечение обычно оказывается пустым множеством [173], поэтому приходится рассматривать множество эффективных решений, когда оптимизация означает улучшение одних показателей при условии, чтобы другие не ухудшались.

В общем случае эффективные решения не эквивалентны друг другу, т. е. про два решения нельзя сказать, какое из них лучше. Поэтому для многокритериальных задач от оператора требуется дополнительное изучение найденных решений.

2.4. Цифровые инструменты проектирования рецептур: анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения

Проектирование рецептур с использованием калькулятора — устаревший подход, требующий расхода гигантских ресурсов времени. В настоящее время существует множество компьютерных программ, как общематематических, так и специализированных, предназначенных для расчета рецептур (смесей) и проектирования поликомпонентных/комбинированных продуктов [25, 45, 46, 162, 104, 107, 172].

Расчеты по разработке и совершенствованию пищевых продуктов базируются на достоверной начальной информации о нутриентном профиле сырья. Источником такой информации могут быть как официально изданные книги-справочники, так и более удобные современные цифровые ресурсы — онлайн базы данных.

В России ученые пользуются справочником В. А. Тутельяна [200], в котором представлены таблицы содержания основных химических веществ в пищевых продуктах, производимых или продаваемых на территории России, и сведения об их калорийности, а также приведены сведения о степени удовлетворения условной одноразовой порцией продукта средней суточной потребности в основных пищевых веществах и энергии. Другой справочник, популярный в мире и в России (в переводной версии), — справочник МакКанса и Уиддоусона [203], в котором даны сведения о составе и пищевой ценности более 1 200 пищевых продуктов и блюд.

На русском языке в электронном формате можно воспользоваться базой данных, размещенной на сайте московского «Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи». Одной из самых надежных и популярных в мире нутриентных баз данных является свободно доступная на сайте Министерства сельского хозяйства США база USDA. В странах Евросоюза наибольшую популярность сыскала база данных EuroFIR, а в Великобритании — CoFID.

Авторами настоящей монографии изучена и систематизирована информация о доступных мировых базах данных по составу пищевых продуктов и сырья (далее в этой главе). В табл. 2.7 будут упорядочены по странам базы данных, даны названия баз, прямая ссылка для онлайн-

доступа и авторские комментарии по особенностям наполнения, возможностям поиска и специфике работы с конкретными базами.

Средства компьютеризированного проектирования пищевых продуктов следует воспринимать лишь как удобный инструмент, который обязательно должен быть дополнен содержательным анализом полученного решения. Возможны случаи, когда верное с математической точки зрения решение оказывается не самым удачным с практической точки зрения. Поэтому при выборе окончательного варианта из множества найденных решений следует обдуманно отнестись к их оценке, включая обязательную проверку органолептических характеристик продукта с условно «идеальным» расчетным составом.

Авторами был проведен анализ возможности применения современных систем компьютерной алгебры для проектирования продуктов питания на основе принципов пищевой комбинаторики, результаты которого сведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Преимущества и недостатки различных современных систем компьютерной алгебры для проектирования продуктов питания

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
Maple	– Программное обеспечение (ПО) ориентировано на сложные расчеты и визуализацию данных. – Проработанные инструменты для работы с графикой	– Коммерческое ПО. – Пользователь должен отлично разбираться в математике, чтобы читать и понимать документы Maple (ПО предназначено для символьных вычислений, хотя и имеет инструменты для численного решения дифференциальных уравнений и нахождения интегралов; ПО имеет собственный	Waterloo Maple Inc., Канада ³⁴ , www.maplesoft.com

³⁴ <http://www.maplesoft.com/products/maple/>.

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
		язык программирования)	
Maxima	– Свободное ПО в рамках открытого лицензионного соглашения GNU GPL³⁵. – Возможность работы с очень большими полиномами	Пользователь должен отлично разбираться в символьных вычислениях, чтобы читать и понимать документы Maxima	Developers: Macsyma group at Project MAC, http://www.csail.mit.edu , США ³⁶ и волонтеры
Matlab	– Возможность матричных расчетов. – Возможность создания пользовательского интерфейса. – Расчеты в реальном времени.	Коммерческое ПО	The MathWorks, Inc., США ³⁷ [143], www.mathworks.com

Продолжение табл. 2.5

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
	– Возможность использовать нейронные сети для проектирования поликомпонентных продуктов. – ПО предназначено для численного решения задач, но есть возможность и символьных вычислений		
Mathematica	– Возможность командной работы над созданием пищевого продукта (общая работа над документом, обмен	Коммерческое ПО	Wolfram, США ³⁸ , http://www.wolfram.com

³⁵ GNU General Public License.³⁶ <http://maxima.sourceforge.net/>.³⁷ <http://www.mathworks.com/products/matlab.html>.³⁸ <http://www.wolfram.com/mathematica/>.

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
	рецептурами, расчетами, параметрами проектирования, другой общей информацией). – Расчеты в реальном времени. – Расчеты интегрированы вместе с текстом в единый интерактивный документ		
PTC Mathcad	– Удобный простой интерфейс. – Возможность командной работы над созданием пищевого продукта (общая работа над документом, обмен рецептурами, расчетами, параметрами проектирования, другой общей информацией). – Расчеты в реальном времени. – Расчеты интегрированы вместе с текстом в единый интерактивный документ.	Коммерческое ПО	PTC, Inc., США ³⁹ , www.ptc.com

Окончание табл. 2.5

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
	– Возможность представления сложных вычислений в удобочитаемой форме (пользователю не требуется особых навыков для работы с этим ПО, хотя некоторые познания		

³⁹ <http://www.ptc.com/engineering-math-software/mathcad>.

Система компьютерной алгебры	Преимущества	Недостатки	Производитель / разработчик / сайт
	в математике все же необходимы)		

К настоящему времени для автоматизированного расчета и оптимизации рецептур и проектирования поликомпонентных пищевых продуктов разработано множество видов ПО. Такое ПО может быть разделено на две большие категории (рис. 2.10): I типа — программы индустриального масштаба для крупномасштабных производств, являющиеся частью софта управления производством; II типа — небольшие компьютерные программы, предназначенные для решения узких задач по проектированию конкретных наименований пищевых продуктов и используемые на небольших производствах (ИП, МИП, университетские научно-исследовательские лаборатории и т. п.).

Результаты критического анализа современного ПО по проектированию рецептур (отечественное и зарубежное ПО) сведены в табл. 2.6. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

При разработке новых пищевых продуктов или совершенствовании имеющихся рецептур требуется учитывать множество факторов, включая характеристики сырья, товарно-складские запасы, законодательные предписания и акты и пр. ПО I типа используется крупными концернами для автоматизации таких задач. Основными преимуществами этого типа ПО являются возможность работы с огромным количеством рецептур продуктов, простота управления, возможность командной работы над продуктом и легкий доступ различных подразделений предприятия к общим электронным ресурсам. Главный недостаток — колоссальные финансовые затраты на покупку ПО, доступ к техподдержке пользователей и расходы на обучение персонала работе с софтом. Затраты эти столь велики, что делают ПО I типа практически недоступным для среднего и малого бизнеса. Кроме того, ПО I типа невозможно после покупки самостоятельно установить и внедрить в производственный процесс без помощи службы поддержки клиентов, что зачастую также должно оплачиваться отдельно.

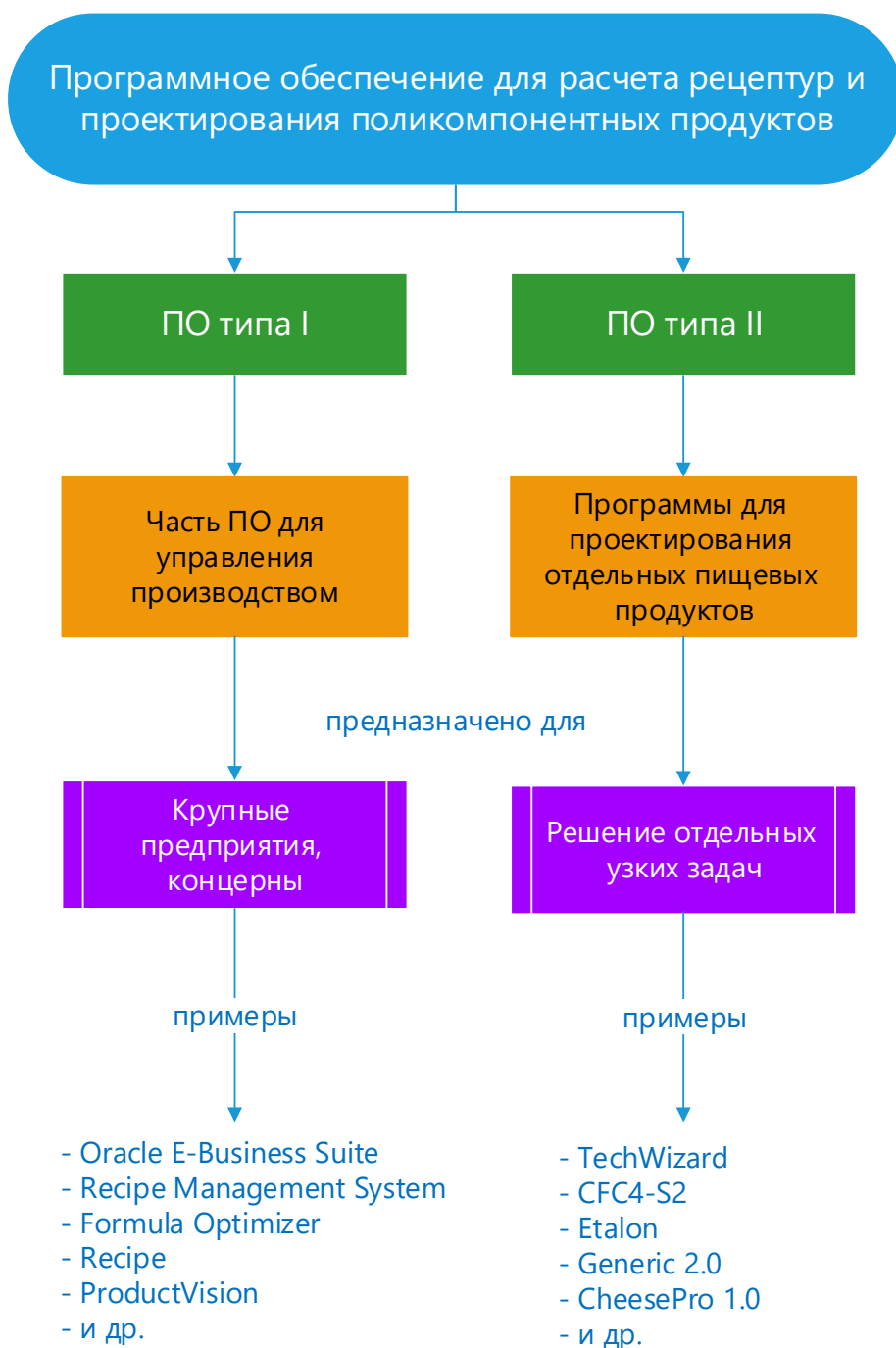


Рис. 2.10. Классификация современного программного обеспечения по проектированию рецептов

Таблица 2.6

**Коммерческое и свободное ПО для проектирования рецептов
и разработки поликомпонентных пищевых продуктов**

Название ПО	Инструментарий / опции, преимущества	Производитель / разработчик / сайт
Oracle E-Business Suite	– Инструменты поддержки графики. – Разработка рецептуры от экспериментального образца до готового к внедрению в производство продукта. – Проектирование рецептов с наименьшей стоимостью ингредиентов. – Система управления позволяет оптимизировать как отдельные рецептуры, так и производственные партии. – Стандартизованные единицы измерений	Oracle Corporation, США ⁴⁰ , www.oracle.com
Recipe Management System; Formula Optimizer	– Многокритериальная оптимизация рецептов пищевых продуктов. – Расчет пищевой ценности и стоимости. – Возможность задать ограничения. – Возможность реализации сценария «Что-Если» при расчете рецептов. – Составление производственного плана на основе спроектированных рецептов. – Сравнение существующих и спроектированных рецептов. – Настраиваемая под задачи пользователя база данных и конструирование отдельных расчетов. – Расчет выхода процессов. – Извлечение релевантных данных из законодательства о правилах декларирования состава пищевых продуктов	Hamilton Grant Software Ltd., Великобритания ⁴¹ , www.hamilton-grant.com
Recipe	– Составление рецептов на основе перечня возможных ингредиентов и требований к конечному продукту. – Автоматически с внесением изменений в рецептуру изменяются данные о пищевой ценности, аллергенах, стоимости, степени удовлетворения суточной потребности в пищевых	ABT Informatique, Франция ⁴² , www.abt-sensory-analysis.com

⁴⁰ www.oracle.com/us/products/applications/ebs-manufacturing-12-1-1935600.pdf.

⁴¹ www.hamilton-grant.com/Why-Choose-HG; www.hamilton-grant.com/Solutions/Recipe-Management/Formula-Optimizer.

⁴² www.abt-sensory-analysis.com/en/recipe.html; www.abt-sensory-analysis.com/uploads/pdf/RE1_RECIPES_Presentation_ENG.pdf.

Название ПО	Инструментарий / опции, преимущества	Производитель / разработчик / сайт
	веществах и энергии, а также информация для этикетки. – Возможность многокритериального сравнения рецептов	

Продолжение табл. 2.6

Название ПО	Инструментарий / опции, преимущества	Производитель / разработчик / сайт
Microsoft Dynamics AX	– Проектирование пищевых продуктов на основе индивидуальных спецификаций. – Проверка и оценка соответствия продукта законодательно установленным нормативам. – Выдача отчетов по ингредиентам, рецептурам, партиям, запасам, объемам выпуска продукции	Clients First Business Solutions, США ⁴³ , clientsfirst-tx.com
Product Lifecycle Management	– Оптимизация и стандартизация рецептов. – Возможность добавления новых ограничений. – Расчет рецептуры с минимальной стоимостью. – Оценка соответствия запросам потребителей. – Отслеживание законодательства и нормативов в различных странах. – Расчет характеристик пищевого продукта. – Автоматическое обновление рецептов при изменении характеристик сырья. – Сравнение рецептов	beCPG, Франция ⁴⁴ . www.becpg.net
ProductVision; Formula Design Module	– Расчет состава продукта, его пищевой ценности, стоимости. – Разработка и тестирование производственных процессов. – Оценка соответствия нормативам. – Автоматическое обновление наносимых на этикетку утверждений об ингредиентах и характеристиках продукта, его стоимости, пищевой ценности. – Выдача необходимых отчетов	Advanced Software Designs, США ⁴⁵ , www.asdsoftware.com
DevEX Product Lifecycle Management	– Разработка пищевых продуктов. – Инструменты для оптимизации рецептов. – Информация о сырье, включая стоимость, аллергены, пищевую ценность.	Selerant, США ⁴⁶ , www.selerant.com

⁴³ <http://clientsfirst-tx.com/food-processing-erp-formulas-recipes/>.⁴⁴ www.becpg.net/product/modules.⁴⁵ www.asdsoftware.com/product-lifecycle-management/.⁴⁶ www.selerant.com/corp/devex-plm/formulation-management/.

Название ПО	Инструментарий / опции, преимущества	Производитель / разработчик / сайт
	– Отслеживание потенциально опасных субстанций и аллергенов. – Учет пожеланий и ограничений при разработке продукта. – Возможность использования данных из существующих рецептов для ускорения разработки новых рецептов	

Окончание табл. 2.6

Название ПО	Инструментарий / опции, преимущества	Производитель / разработчик / сайт
TechWizard; Production Wizard	– Проектирование рецептов мороженого из множества ингредиентов. – Возможность задать условия и ограничения. – Расчет рецептуры с наименьшей стоимостью. – Обратное проектирование (исходя из состава конечного продукта). – Расчет данных о пищевой ценности для этикетки	Owl Software, США ⁴⁷ , www.owlsoft.com
CFC4-S2	– Оптимизация рецептов с комплексом желаемых показателей пищевой ценности и минимальной стоимостью. – Возможность задать ограничения по сырью и нутриентам	Creative Formulation Concepts, США ⁴⁸ [7]

Эталонным примером ПО I типа может служить Oracle E-Business Suite, в особенности модуль «Управление разработкой продукции в непрерывном производстве» (см. табл. 2.6, рис. 2.11). Этот софт позволяет управлять рецептурами на уровне не только одного завода, но и целого индустриального холдинга.

Интегрированное решение Oracle⁴⁹ также позволяет получать всю обязательную отчетную информацию, например, для НАССР, используя информацию модуля «Рецептура и управление качеством», а также гибкие средства построения отчетности. Для реализации специфических требований предприятий пищевой отрасли в системе предусмотрен специальный блок управления процессным производством (Oracle Process

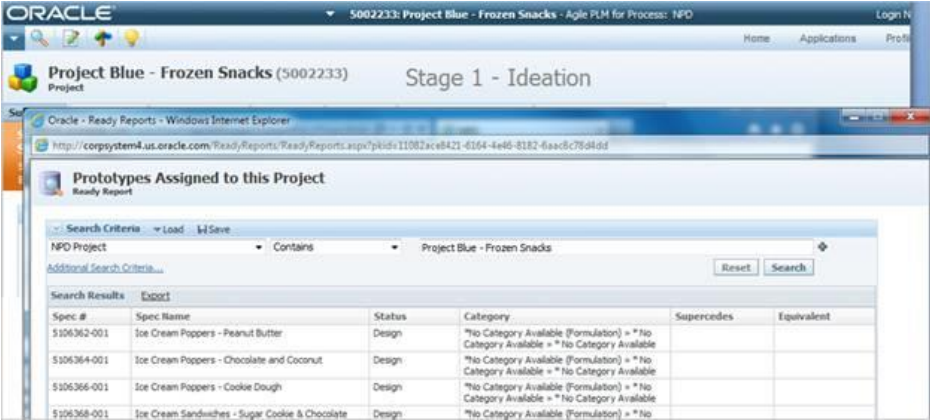
⁴⁷ http://owlsoft.com/pdf_docs/TWz_Examples/TWz_Ex_IceCream.pdf.

⁴⁸ www.cfctech.com/products/human-food.aspx.

⁴⁹ http://www.fors.ru/upload/magazine/02/oracle_fusion_applications/industry/06/1.pdf;
https://docs.oracle.com/cd/E26401_01/doc.122/e49064.pdf. https://docs.oracle.com/cd/E18727_01/doc.121/e13091/T320995T321002.htm.

Manufacturing — OPM). Он по своей сути является комплексной системой управления ресурсами, отражающей специфику предприятий с процессным типом производства. В состав блока OPM входят следующие основные компоненты:

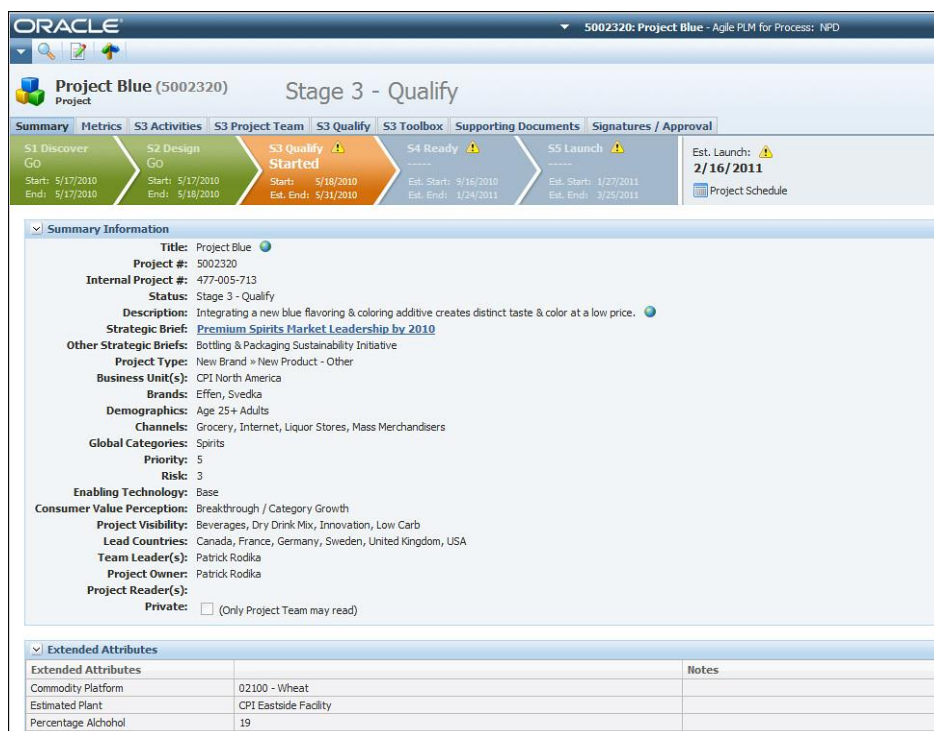
- 1) управление нормативами (Product Development);
- 2) планирование производства (Production Planning);
- 3) контроль исполнения производственной программы (Production Execution);
- 4) управление себестоимостью (Cost Management);
- 5) управление запасами (Process Inventory).



The screenshot shows the Oracle Project Blue - Frozen Snacks interface. The main heading is "Project Blue - Frozen Snacks (5002233) Stage 1 - Ideation". Below this, there is a section titled "Prototypes Assigned to this Project". A search criteria dropdown is set to "Contains" and "Project Blue - Frozen Snacks". The search results table is as follows:

Spec #	Spec Name	Status	Category	Supersedes	Equivalent
\$106362-001	Ice Cream Poppers - Peanut Butter	Design	"No Category Available (Formulation)" = "No Category Available"		
\$106364-001	Ice Cream Poppers - Chocolate and Coconut	Design	"No Category Available (Formulation)" = "No Category Available"		
\$106366-001	Ice Cream Poppers - Cookie Dough	Design	"No Category Available (Formulation)" = "No Category Available"		
\$106368-001	Ice Cream Sandwiches - Sugar Cookie & Chocolate	Design	"No Category Available (Formulation)" = "No Category Available"		

a)



б)

Рис. 2.11. Реализация в системе Oracle E-Business Suite проекта:

а) «Замороженные снеки, прототип — мороженое с ореховой пастой, мороженое с шоколадом и кокосом, мороженое с печеньем, мороженое с печеньем и шоколадом»; б) «Внедрение в рецептуру нового ингредиента для коррекции вкуса и цвета с учетом минимизации стоимости»

Блок управления процессным производством обеспечивает поддержку единых справочников сырья и рецептов. Для каждой продукции возможно определение неограниченного количества рецептов с заданием правил их применения на конкретном предприятии. Каждая рецептура позволяет определить в одной формуле сразу несколько видов готовой продукции, а также попутно получаемых веществ. Одно и то же вещество может выступать в рецептуре и как производимая продукция, и как ингредиент.

Подсистема управления нормативами обеспечивает одновременное ведение количественного учета позиций в двух разных единицах измерения, например, в тоннах и литрах, с заданием коэффициента пересчета на уровне партии, что позволяет решить задачи по контролю качества, учету различной степени концентрации активного компонента, а также нормализации спецификации производимой продукции.

Пользователь имеет возможность моделирования различных параметров продукции на основе данных о качественных характеристиках сырья с последующим контролем фактических результатов производства. Расчет выхода готовой продукции может быть произведен с учетом качества используемых ингредиентов, а также различных правил изменения объема расхода сырья и кратности выпуска продукции, например, для некоторых ингредиентов может быть задана кратность потребления.

В состав Oracle Applications входит модуль для управления жизненным циклом продукта «Agile Product Lifecycle Management for Process», позволяющий предприятиям пищевой отрасли добиваться сокращения времени вывода новой продукции на рынок, увеличения продаж, снижения затрат и сокращения инновационных рисков. Это интегрированное решение охватывает все стороны инновационного процесса, начиная от создания продукта и управления продуктовым портфелем, управления спецификациями, управления поставщиками, управления составом продукта, упаковкой и маркировкой и заканчивая управлением качеством продукции. Распределенная структура процессов, данных и специалистов, вовлеченных в создание нового продукта, делает этот процесс очень сложным. Члены инновационной команды часто используют разрозненную информацию, не связанные между собой системы и различные неформализуемые способы коммуникации, что приводит к плохому межфункциональному взаимодействию и неэффективности процесса в целом. Выходом в таком случае является внедрение интегрированного, совместно используемого программного решения, позволяющего существенно сократить время разработки продукта, время разработки упаковки, повысить качество продукта и в целом быстрее и дешевле создать продукт, отвечающий требованиям покупателя.

Oracle E-Business Suite обеспечивает детальный контроль движения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Пользователь получает возможность оперативного анализа планового и фактического расхода сырья, оценки стоимости запасов и незавершенного производства. Партионный учет позволяет контролировать уровень брака и производственных потерь. ОРМ позволяет определить, из каких ингредиентов была произведена конкретная партия и при производстве какой продукции была использована указанная партия сырья или

материалов. Резервирование сырья и отпуск продукции выполняются с учетом качественных характеристик конкретной партии. Пооперационный контроль производственного процесса, расхода сырья и материалов, а также соответствие качественных параметров обеспечивает решение задач управления качеством выпускаемой продукции.

Oracle E-Business Suite широко используется крупными предприятиями пищевой промышленности. Например, это «Tropicana» (крупнейший производитель соков), «Dairy Crest» (крупнейший британский производитель молочных и немолочных продуктов, напитков, продуктов домашнего потребления, ингредиентов), «Foremost Farms» (крупнейший производитель и переработчик молока в США), «Schreiber Foods» (крупнейший производитель сыров в США), «Frito-Lay» (подразделение PepsiCo по производству соленых и сладких снеков), «Coca-Cola Bottling Company of Egypt» (крупнейший производитель напитков). В России решения Oracle E-Business Suite внедрены, например, на ОАО «Вимм-Билль-Данн Продукты Питания» (37 предприятий), в российском сегменте «Frito-Lay», на множестве непищевых предприятий.

Крупные концерны практически ежедневно нуждаются в корректировке рецептур и контроле качества выпускаемой пищевой продукции, ее соответствии нормативно-технической документации и всем законодательным требованиям. Корректировка рецептур может требоваться в связи с естественными колебаниями состава сырья и ингредиентов. Чаще всего такое ПО используется на крупных предприятиях по производству детского питания и алкогольсодержащих напитков, на сыродельных заводах и др.

Другим хорошим примером ПО I типа может быть «Recipe Management System» компании Hamilton Grant. Этот софт предназначен для ускорения процесса разработки рецептур на протяжении жизненного цикла продукта. В процессе разработки продукта проигрывается множество сценариев «что-если», при этом в режиме реального времени обновляются данные о нутриентном профиле продукта, составе продукта и информации, выносимой на этикетку (рис. 2.12).

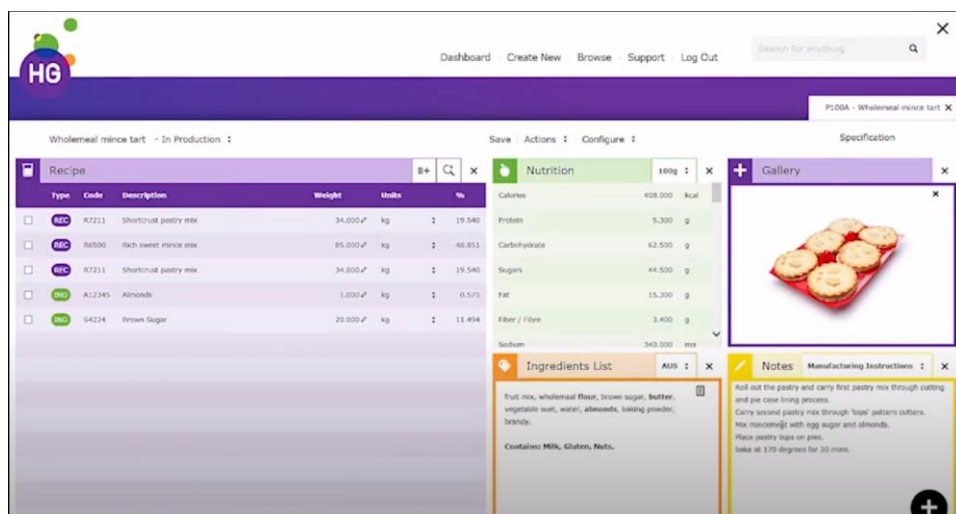


Рис. 2.12. Спроектированный с помощью «Recipe Management System» компании Hamilton Grant тарт из цельнозерновой муки⁵⁰

Продвинутым модулем «Recipe Management System» компании Hamilton Grant является «Formula Optimizer», который в автоматическом режиме рассчитывает рецептуры на основе комплекса нутриентных профилей доступного сырья и ингредиентов и автоматически корректирует расчеты для каждой партии пищевого продукта и/или сырья. Софт допускает вводить ограничения по номенклатуре или количеству сырья, соотношению нутриентов в готовом продукте, нутриентному профилю конечного продукта, уровню допустимых колебаний этих характеристик. При этом учитывается необходимость нахождения рецептуры с минимальной стоимостью. Этот вид ПО широко используется в молочной промышленности, в частности для автоматизации расчета уточненных рецептур, стандартизации продукта (главным образом, по массовой доле жира), оптимизации стоимости, коррекции рецептур при колебаниях состава сырья (что в молочной отрасли происходит постоянно), а также для увеличения валового выпуска готовой продукции.

Во Франции дистрибьюторы реализуют софт компании Hamilton Grant в версии «Recipe», включающей, помимо опций для собственно проектирования рецептур, базу данных для управления релевантной информацией. Программа предназначена для широкого круга задач, начиная с возможности заранее задать критерии желательности

⁵⁰ <https://www.hamilton-grant.com/food-product-development/>; <http://www.tangerine-software.com/pdfs/ANNEXES/HAMILTON-GRANT-Brochure-EN.pdf>.

(требования к конечному продукту) и заканчивая автоматической подготовкой отчета с полной спецификацией проектируемого продукта (состав продукта, нутриентный профиль, аллергены, расчет отходов и потерь, стоимость, информация, выносимая на этикетку и т. д.).

После анализа сгенерированного отчета пользователь может создавать сложные запросы по встроенной базе данных, например, по использованию только определенных видов сырья и ингредиентов, что актуально при разработке продуктов специализированного питания, кошерных продуктов, ограничении по содержанию поваренной соли, яиц и т. п. Программа позволяет оптимизировать рецептуры в реальном времени, например, при корректировке массовой доли жира или содержания витаминов в продукте или сырье. При желании информацию в «Recipe» можно легко импортировать из других программ, таких как Excel, SAP, внешних серверов со значительными ресурсами ввода-вывода, большим объемом оперативной и внешней памяти (мейнфреймы). С помощью «Recipe» можно проектировать рецептуры как пищевых продуктов, так и кормов (рис. 2.13).

Американское ПО I типа «Dynamics AX» предназначено для автоматизации проигрывания различных производственных сценариев (рис. 2.14). Софт позволяет оперативно корректировать рецептуры при замене сырья, вносить различные ограничения и предопределять требования к конечному продукту, рассчитывать стоимость, визуализировать расчеты, создавать рецептуры новых пищевых продуктов, отображать изменения рецептуры в зависимости от стадии технологического процесса, готовить информацию о производственных партиях продукции. Софт генерирует отчеты с информацией об используемом сырье, рецептуре, партии, товарно-складских запасах, валовому выходу продукции.

Système Recipe Exemple de fiche technique ()

Code de la recette :

Nom de la recette abrégé :

Nom de la recette complet :

Formulation:

Code	Type	Nom
Poids total en entrée		
Poids total en sortie		

Nutrition:

Nutrition	Valeur

Options de champ : texte

Type : Texte ordinaire

Texte par défaut :

Longueur maximale : Illimitée

Mise en forme :

Exécuter la macro

Au démarrage :

À la sortie :

Paramètres de champ

Signet : INGRCODE

☐ Calculer à la sortie

☒ Remplissage activé

Formule - fruits - F003*

Base de données

Glisser - poser

Valeurs Nutritionnelles

Description	Quantité	Unités	In...	Origine	% d...
water	100,000	g	A	McCa...	100
of which poly...	0,000	g	Tr	McCa...	100
of which sug...	6,000	g		McCa...	100
of which ster...	0,000	g		McCa...	100
solids	0,000	g	A	McCa...	100
sodium	0,000	mg		Unkn...	0,00
of which sat...	0,000	g	Tr	McCa...	100
poly...	0,000	g		Unkn...	0,00
of which mon...	0,000	g	Tr	McCa...	100
energy (kJ)	118,020	kJ		Equat...	100
energy (kcal)	28,100	kcal		Equat...	100
fibre	1,100	g		McCa...	100
fat	0,100	g		McCa...	100
of which chol...	0,000	mg		McCa...	100
carbohydrate	6,000	g		McCa...	100
Alcohol	0,000	g	A	McCa...	100
Calcium	16,000	mg		McCa...	100
Fer	0,000	g		McCa...	100
Vitamine C	0,077	g		McCa...	100
Biotine	0,000	g		Unkn...	0,00
Vit C après 2 ...	0,000	g		Unkn...	0,00
Abarre	0,000	g		Equat...	0,00
Vit A	0,000	g		Unkn...	0,00
PH	0,000	g		Unkn...	0,00
Calcul formule	0,000	g		Unkn...	0,00
Farine	0,000	g		Unkn...	0,00
poids pation	0,000	g		Unkn...	0,00
Ratio pétrin	0,000	%		Equat...	0,00
Nombre venu...	0,000	%		Unkn...	0,00
Vitamine A	0,000	g		Unkn...	0,00
Vitamine K	0,000	g		Unkn...	0,00
Phosphore	0,000	mg		Unkn...	0,00

Рис. 2.13. Проектирование рецептуры в среде «Recipe»
компания ABT Informatique⁵¹

⁵¹ <http://www.abt-sensory-analysis.com/fr/recipe.html>.



Рис. 2.14. Проигрывание производственных сценариев с помощью «Dynamics AX» компании Clients First Business Solutions⁵²

Для управления всем жизненным циклом продукта существует отдельный софт, например, французский «Product Lifecycle Management» или американский «ProductVision» (рис. 2.15). По сути, это база данных, в которой хранится вся информация, необходимая для разработки нового продукта, начиная от сырья и запасов, рецептур, всех расчетов, характеристик сырья и ингредиентов и заканчивая стоимостью, нутриентными профилями и другими полезными данными. ПО автоматизирует разработку продукта с одновременной оценкой соблюдения технологических и законодательных требований. Модуль «Nutrition Labeling» автоматически создает этикетку для продукта, соответствующую требованиям законодательства Евросоюза и Канады (рис. 2.16) [35].

Американская компания Selerant специализируется на ПО «DevEX Product Lifecycle Management», предназначенном для управления жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management), включая менеджмент информации о продукте и связанных с ним процессах на протяжении всего жизненного цикла продукта, начиная с выявления потребностей общества в определенном продукте, проектирования продукта, его производства и заканчивая снятием его с эксплуатации

⁵² <https://cfbs-us.com/portfolio-item/dynamics-365-enterprise-process-manufacturing-demo/>; <https://cfbs-us.com/food-distributionprocessing/>.

(утилизацией). Структура модуля «Управление рецептурами» ПО «DevEX Product Lifecycle Management» представлена на рис. 2.17.

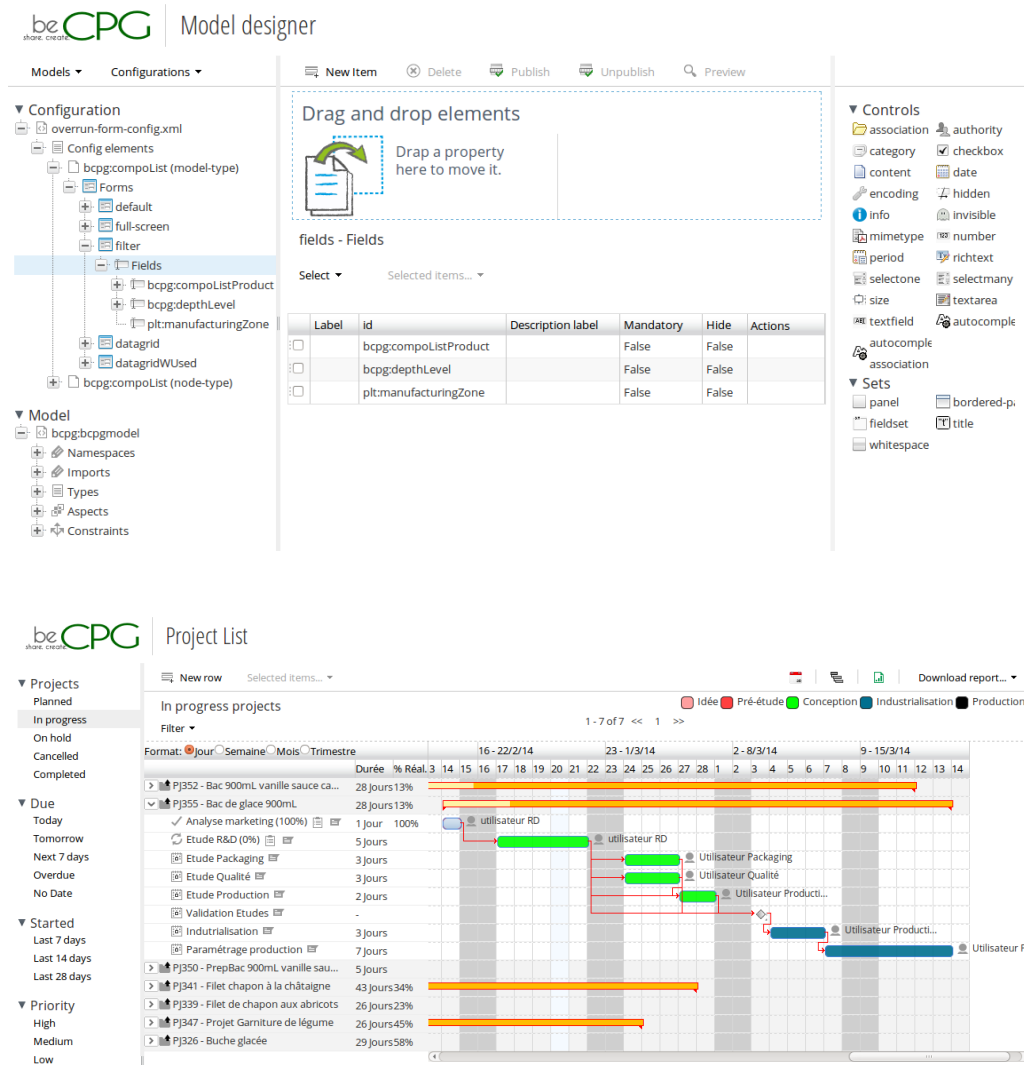


Рис. 2.15. Проектирование пищевого продукта с помощью «Product Lifecycle Management» компании beCPG⁵³

⁵³ <https://sourceforge.net/projects/becpg-community/>; http://unbouncepages.com/becpg-plm-gdm/?directory=productlifecyclemangement&utm_source=capterra.

Nutrition Facts			
Serving Size 1 item (148g)			
Servings Per Container 2			
Amount Per Serving			
Calories 320		Calories from Fat 130	
			% Daily Value*
Total Fat	15g		23%
Saturated Fat	8g		40%
Trans Fat	0g		
Cholesterol	40mg		13%
Sodium	560mg		23%
Total Carbohydrate	32g		11%
Dietary Fiber	6g		24%
Sugars	3g		
Protein	16g		
Vitamin A	15%	•	Vitamin C 8%
Calcium	35%	•	Iron 15%
* Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:			
		Calories:	2,000 2,500
Total Fat	Less than	65g	80g
Saturated Fat	Less than	20g	25g
Cholesterol	Less than	300mg	300mg
Sodium	Less than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g

Ingredients: Pinto Beans, Boiled; Flour Tortilla; Cheddar Cheese, Shredded; Tap Water; Tomato Paste, Canned; Cheddar Cheese, Shredded; Onions, Chopped; Chili Powder; Cumin Seeds; Garlic Powder; Paprika; Onion Powder; Ground Black Pepper

Рис. 2.16. Этикетка⁵⁴, генерируемая программой «ProductVision»

ПО II типа в основном построены на базе электронных табличных редакторов и решают задачи путем линейного программирования. Для множества задач, связанных с проектированием рецептур, электронные таблицы действительно являются удобным и быстрым инструментом. В научно-технической литературе описаны случаи использования электронных таблиц в качестве инструмента для принятия решений и проектирования комбикормов, рационов для животных, рецептур диетических продуктов, корректировки рецептур, расчета ингредиентов при стандартизации отдельных пищевых продуктов [91]. Электронные таблицы — удобный инструмент для быстрой приблизительной оценки стоимости рецептуры проектируемого продукта и ее сравнения с имеющимися рецептурами.

Главными достоинствами ПО II типа являются его низкая стоимость, разумные затраты на внедрение и отсутствие необходимости в углубленной подготовке пользователей для работы с таким софтом. Поэтому ПО II типа может использоваться и в малом бизнесе. С другой стороны, зачастую такое ПО предназначено для работы с одной

небольшой группой продуктов или одним продуктом (мороженое, сыр и т. д.). Иногда такой софт описывается лишь в научных статьях и диссертационных работах, имеет низкую коммерциализацию или вовсе отсутствует в продаже или свободном для скачивания доступе.

⁵⁴ <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2007/january/columns/laboratory>;
<https://www.asdsoftware.com/productvision/partners>.

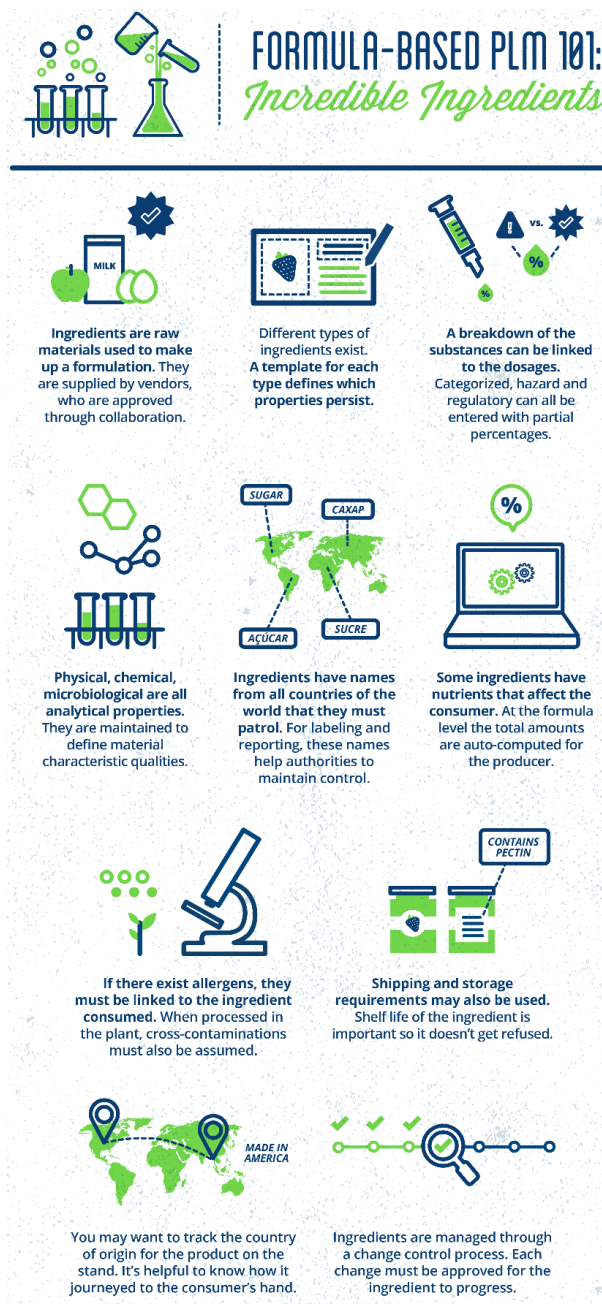


Рис. 2.17. Инфографика⁵⁵ компании Selerant о модуле «Управление рецептурами» ПО для разработки пищевых продуктов «DevEX Product Lifecycle Management»

⁵⁵ <https://resources.selerant.com/product-lifecycle-management/recipe-management-formula-plm>.

Впрочем, на начальной стадии проектирования продуктов часто требуется быстрое решение небольших локальных задач. В этих условиях приобретение сложного и дорогостоящего ПО I типа и обучение пользователя работе являются неэффективными и неоправданными. В таком случае выбор ПО II типа будет оптимальным решением.

Математическое программирование связано с применением математических моделей для решения оптимизационных задач. Линейное программирование — это наиболее простая и распространенная форма математического программирования. Основной задачей линейного программирования является поиск экстремума (минимума или максимума) функции путем выбора величин в пределах допустимого набора ограничений. Линейное программирование имеет множество преимуществ, в частности скорость расчетов, возможность внесения большого количества видов сырья, их характеристик, наложения дополнительных ограничений. Линейное программирование широко используется в промышленности, например, в таких областях, как производство и консервирование пищевых продуктов, оптимизация рецептур кормов для крупного, мелкого рогатого скота, птиц, домашних животных, расчет суточного сбалансированного рациона с минимальной стоимостью, оценка экономического эффекта обогащения пищевого продукта, проектирование рецептур, дневных и недельных рационов для организованных контингентов и т. д.

Известно более 50 видов программного обеспечения, основанного на линейном программировании. Самым известным, удобным и популярным софтом этого вида является Microsoft Excel, в котором есть простой в использовании и мощный инструмент для линейного программирования — надстройка «Поиск решения», или Excel Solver⁵⁶. Другие примеры программного обеспечения этого типа — LINDO и Economics QM for Windows, GAMS, AMPL [35].

Примером ПО II типа может служить программа «TechWizard» (фирма Owl Software, Ланкастер, Пенсильвания, США, <http://owlsoft.com/frozdessert.html>). Программа предназначена для проектирования рецептур продуктов (мороженое, пицца, плавленый сыр, соус барбекю, смесь специй, клубничный протеиновый напиток и др.) из множества возможных ингре-

⁵⁶ <https://support.office.com/ru-ru/article/загрузка-надстройки-поиск-решения-в-excel-612926fc-d53b-46b4-872c-e24772f078ca>.

диентов и действует по принципу реверсивного инжиниринга (расчет исходя из состава конечного продукта). Этот софт основан на применении метода линейного программирования и разработан на базе Microsoft Excel. «TechWizard» может выполнять расчеты рецептур мороженого со множеством ингредиентов, рассчитывать рецептуры с минимизацией стоимости, в автоматическом режиме готовить информацию для этикетки, строить кривые замораживания и на основе спроектированных рецептур выполнять некоторые другие операции (рис. 2.18, 2.19). Например, программа расчета экономичных рецептур определяет диапазон себестоимости, в пределах которого применяется тот или иной ингредиент. Имеющиеся количества ингредиентов и их состав вводят в компьютер наряду с приемлемым диапазоном ингредиентов в готовом продукте.

ACME INGREDIENT COMPANY PROVIDING QUALITY AT A LOW PRICE		503 E Ingredient Street Anywhere, USA 00121 tel 555-555-5555	← встраиваемый логотип компании
Ingredient: Spice Blend - Older Bay V2 Ingredient ID: Demo Formula Serving Size: 100 g		Date: 20-Jun-2012	
		Amount Per Serving	
Price	8.98	price/lb	
Total Solids	95.169	%	
Calories	249.722	cal	
Fat Calories	118.716	cal	
Total Fat	13.191	g	
Saturated Fat	2.581	g	
Trans Fatty Acids (TFA)	0.000	g	
Cholesterol	0.000	mg	
Sodium	13636.695	mg	
Total Carbohydrates	33.160	g	
Dietary Fiber	13.011	g	
Sugars	3.373	g	
Protein	9.975	g	
Vitamin A	2791.526	IU	
Vitamin C (Ascorbic Acid)	14.752	mg	
Calcium	496.621	mg	
Iron	15.724	mg	
Density	1.401	Kg/L	
Contains Milk	No		
Contains Egg	No		
Contains Fish	No		
Contains Shellfish	No		
Contains Tree Nuts	No		
Contains Wheat	No		
Contains Peanuts	No		
Contains Soy	No		
Organic	No		
Kosher	No		
Country of Origin: USA			
Ingredients: SALT, MUSTARD SEED, CELERY SEED, BLACK PEPPER, BAY LEAF, NUTMEG, CLOVES, PAPRIKA, GINGER, CAYENNE PEPPER, CARDAMOM, MACE			

← любая комбинация
данных может быть
отображена в
спецификации

Рис. 2.18. Спецификация⁵⁷ пищевого продукта в программе TechWizard⁵⁷ https://owlsoft.com/techwiz_portal.html.

File

Cell Edit

Edit Ingredient File

Formula Dev and Batch

Labeling

Declaration

Reverse Engineering

Mix Properties

Help

Formula Name & ID

Process Cheese Example

ID Ex Cheese 001

Formula Status

Always Show Ingredients

FORMULATION MEETS ALL CONSTRAINTS

Formulate

Batch

Clear Formula

Edit Price

Add Ingredients

Add Properties

Ratio Properties

Edit

Help

Formulate	Property	Composition	Units	Diag	Min	Max
Yes	FDM	42.500	%	Min	42.500	43.000
Yes	Lactose/Water	13.270	%		10.000	15.000
Yes	Ortho/Water	4.000	%	Min	4.000	4.000

Sort

Remove All

Delete

Clear

Reset

Max

Diag

Price per Lb.

Formula Price Per Lb.

Price Per Kg

Formula Price Per Kg

Remove All

Delete

Composition

Units to Use

Diag

Min

Max

Reset

Set to Max

Ref #	Ingredient # 13	% (Wt./Wt.)	Min	Max	Diag	Price per Lb.	Formula Price Per Lb.	Price Per Kg	Formula Price Per Kg	Property # 12	Composition	Units to Use	Diag	Min	Max
Twz 898115	Cheese (Fiber barrels)	56.154	0.000	100.000		1.520	0.854	3.351	1.882	Salt	2.013	%		2.000	2.200
Twz 0057	Lactic Acid	0.150	0.150	0.150	Min	0.500	0.001	1.102	0.002	Sorbic Acid	0.200	%	Min	0.200	0.200
Twz 0106	Salt	0.546	0.000	100.000		0.609	0.003	1.343	0.007	Cheese (as is)	56.154	%		0.000	100.000
Twz 50100	Sodium Citrate	2.745	0.000	100.000		0.350	0.010	0.772	0.021	Cheese Solids	36.500	%	Max	36.000	36.500
Twz 50104	Sorbic Acid	0.202	0.000	100.000		1.200	0.002	2.646	0.005	Emulsifier	2.410	g/100g	Max	2.400	2.410
Twz 50109	Whey protein conc. 34%	2.952	0.000	11.000		0.700	0.021	1.543	0.046	Lactose	5.556	%		0.000	100.000
Twz 50108	Whey (lactose reduced)	8.000	0.000	8.000	Max	0.400	0.032	0.882	0.071	Added Fat	6.000	%	Max	4.500	6.000
Twz 50299	Color (carotene)	0.060	0.060	0.060	Min	12.000	0.007	26.455	0.016	Total Fat	24.706	g/100g		0.000	100.000
Twz 00953	Milkfat, Conc. Anhydrous Unsalted	0.000	0.000	100.000		1.750	0.006	3.858	0.000	Total Solids	58.132	%		0.000	100.000
Twz 00951	Milkfat, Conc. Anhydrous 1% Salt	0.092	0.000	100.000		1.500	0.091	3.307	0.201	Water	41.867	%		0.000	100.000
Twz 0140	Water	14.000	0.000	14.000	Max	0.001	0.000	0.002	0.000	Orthophosphate Solids	1.675	%		0.000	100.000
Twz 0140	Water (steam)	7.000	0.000	7.000	Max	0.001	0.000	0.002	0.000	Intact Casein	11.231	%		0.000	100.000
Twz 0160	Sodium Phosphate, Dibasic	2.099	0.000	100.000		1.000	0.021	2.205	0.046						
Total		100.000					1.942	2.299							

Рис. 2.19. Рецепт плавленого сыра, спроектированный в программе TechWizard:

1 — кнопка запуска расчета рецептуры; 2 — количество ингредиентов; 3 — стоимость рецептуры

File

Cell Edit

Edit Ingredient File

Formula Dev And Batching

Production Wizard

Help

Formula Name and ID

12% Fat Ice Cream Mix (B)

MultiBatch Ticket 14 w salvage

Formula Status

FORMULATION MEETS ALL CONSTRAINTS

Formulate

Add Ingredients

Add Properties

Sort

Remove All

Delete

Clear

Reset

Max

Diag

Property # 5

Composition

Units to Use

Diag

Min

Max

Ref #	Ingredient # 10	% (Wt./Wt.)	Min	Max	Diag	Property # 5	Composition	Units to Use	Diag	Min	Max
Skim Placeholder	Skim Milk	0.000	0.000	100.000	Min	Milkfat	12.000	%	Min	12.000	12.000
Milk Placeholder	Milk	39.907	0.000	100.000	Min	MSNF	11.000	%	Min	11.000	11.000
Cream Placeholder	Cream	26.384	0.000	100.000	Min	Total Solids	38.494	%	Min	37.000	40.000
CSkim Placeholder	Milk (Condensed Skim)	17.864	0.000	100.000	Min	Sucrose Solids	15.000	%	Min	15.000	15.000
S345-890	Salvage - 12% Mix	0.000	0.000	10.000	Min	Stabilizer Solids	0.188	%	Min	0.188	0.188
760-00201	Swtnr, sugar, granulated	15.015	0.000	100.000	Min						
760-00033	Stabilizer	0.200	0.000	100.000	Min						
460-00101	Flvr, Vanilla, pure extract	0.6296	0.6296	0.630	Min						
700-00103	Skim Powder	0.000	0.000	100.000	Min						
100-0000	Added Water	0.000	0.000	100.000	Min						
Total		100.000									

Рис. 2.20. Корректировка рецептуры мороженого в программе Production Wizard⁵⁸:

1 — наименование рецептуры и ее идентификационный номер; 2, 3 — номер и наименование ингредиентов; 4 — сухое обезжиренное молоко и вода; 5 — скорректированная рецептура; 6, 7 — ограничения по количеству ингредиентов

⁵⁸ https://owlsoft.com/pdf_docs/PWz_Examples/PWz_Ex_Config_PWz.pdf.

Если все ингредиенты доступны в неограниченном количестве, то эта программа выбирает те из них, которые позволяют рассчитать рецептуру с учетом наложенных ограничений при минимальных затратах. Затем компьютер вычисляет количество каждого ингредиента, позволяющее минимизировать стоимость смеси в рамках заданных ограничений по составу и качеству продукта. Низкая себестоимость не означает, что при этом приносится в жертву качество. Если доступны не все ингредиенты или необходимо использовать лишь некоторые из них, то программа рассчитает те же рецептуры с учетом дополнительных ограничений. В академических и научных целях программа «TechWizard» может предоставляться бесплатно.

Также разработкой фирмы Owl Software является программа «Production Wizard», которую удобно использовать для оперативной коррекции рецептур, необходимость в которой зачастую возникает в силу производственной необходимости. Например, предприятие, которое выпускает мороженое, иногда испытывает сложности с наличием необходимых ресурсов сгущенного обезжиренного молока, поэтому рецептуру смеси для мороженого следует пересчитать так, чтобы была легкая возможность замены этого ингредиента на сухое обезжиренное молоко при необходимости. На рис. 2.20 рассмотрен вариант такой корректировки рецептуры мороженого.

Американская компания «Creative Formulation Concepts» (CFC) предлагает ПО для проектирования пищевых продуктов. Этот вид ПО повторяет итерационные вычисления рецептуры, пока не будет достигнуто нужное соотношение ингредиентов в нескольких точках расчета. Программа CFC4-S2 использует линейные уравнения для расчета рецептуры, сбалансированной по нутриентному профилю, при одновременном снижении ее себестоимости. Перед расчетом в программу вручную вводятся характеристики сырья и его стоимость. Затем устанавливаются ограничения по нутриентам в готовом продукте и лимиты расхода сырья. Это позволяет обеспечить необходимое содержание нутриентов в порции продукта, а ограничения на отдельные виды сырья — скорректировать органолептические показатели готового продукта.

Разработанное в России программное обеспечение для автоматизации технологических расчетов, проектирования рецептур и рационов, такое как Etalon, Generic 2.0, CheesePro 1.0 и другие, как правило, основано на описанных в работах И. А. Рогова, Н. Н. Липатова

(мл.), А. М. Бражникова методах математического моделирования и проектирования пищевых продуктов и предполагает использование баз данных о химическом составе сырья и продуктов.

Еще одним примером ПО II типа может служить российский программный комплекс «Etalon» (свидетельство на программу для ЭВМ № 2005610751), который предназначен для проектирования рецептур мясных изделий общего назначения, а также специализированных продуктов для детского, диетического, функционального питания, беременных и кормящих женщин, спецконтингента. «Etalon» состоит из следующих компонентов: 1) база данных, в которой хранится информация о нутриентном составе сырья и физиологических нормах питания; 2) база данных, повышающая эффективность работы алгоритма моделирования рецептур; 3) система управления базой данных [172]. «Etalon» реализует алгоритм рекурсивного цикла и использует специализированную реляционную базу данных для промежуточной оптимизации и хранения результатов, по итогам расчетов программа оценивает баланс нутриентов в готовом продукте (аминокислот, жирных кислот, макро- и микроэлементов, витаминов). «Etalon» предназначен для расчета рецептур с учетом экологии, возраста, образа жизни, физических нагрузок и для различных диет, позволяет автоматизировать алгоритм оценки нутриентной сбалансированности [206]. К недостаткам данного ПО следует отнести необходимость установки на компьютере Microsoft SQL Server и Microsoft Access.

Программы «Разработка рецептур композиций из растительного сырья» (свидетельство на программу для ЭВМ № 2007610187) и «Подбор оптимального состава пищевых продуктов на плодоовощной основе» (свидетельство на программу для ЭВМ № 2007614712) предназначены для разработки рецептур плодоовощных концентратов со сбалансированным соотношением макроэлементов, способных обеспечить наиболее полную рекомендуемую суточную потребность в витаминах и минеральных веществах. Баланс нутриентов в рецептуре, необходимых для максимального удовлетворения суточной потребности человека, достигается путем задания параметров определенного продукта [206].

Программа для автоматизированного проектирования, расчета и оценки качества многокомпонентных рецептур пищевых продуктов «Generic 2.0» (свидетельство на программу для ЭВМ № 2005611720) предлагает автоматизированное проектирование, расчет, оценку качества

мясных, растительных и молочных многокомпонентных рецептов продуктов функционального питания (рис. 2.21). Принцип работы «Generic 2.0» основан на построении обобщенной функции желательности Харрингтона [172].

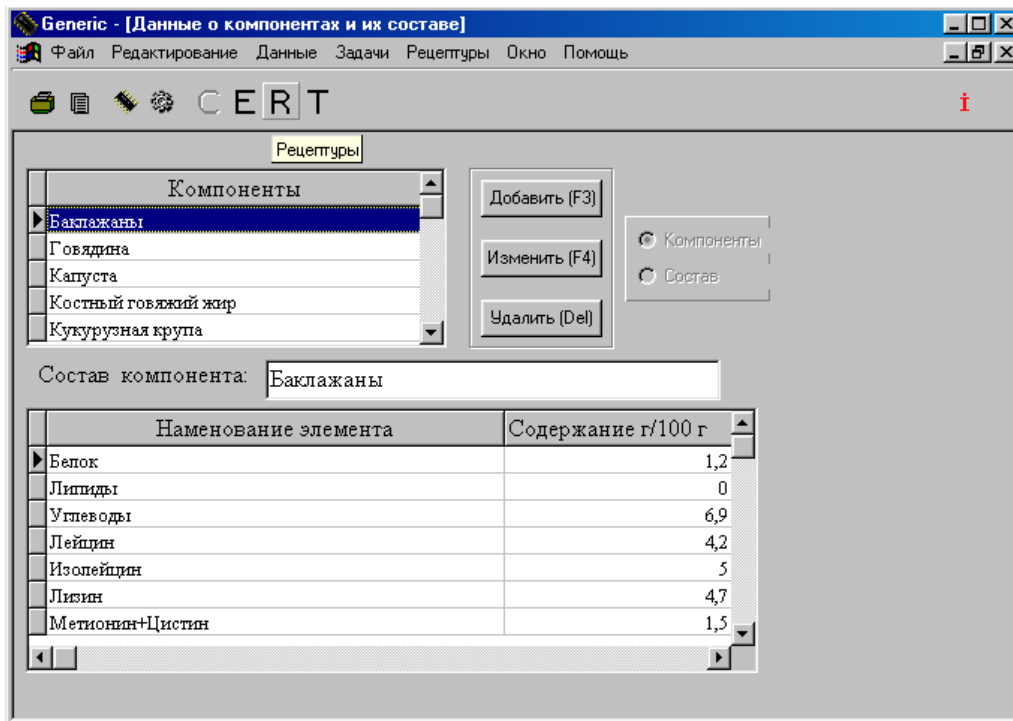


Рис. 2.21. Ввод данных о рецептурных компонентах в программе «Generic 2.0»

Программа «CheesePro 1.0» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2004610533) предназначена для расчета рецептов типовых плавленых сыров по встроенному справочнику, а также для проектирования новых рецептов плавленого сыра с заданными свойствами и прогнозирования свойств сыра по заданному составу с использованием поликомпонентных композиций из вторичного молочного сырья. С помощью «CheesePro 1.0» можно производить расчет рецептов плавленых сыров из сборника технологических инструкций по производству плавленых сыров с фиксированными физико-химическими показателями (массовая доля влаги, массовая доля жира в сухом веществе, массовая доля сахарозы), расчет нестандартных рецептов с задаваемыми физико-химическими показателями, замену нормирующих компонентов в рецептурах плавленых сыров, замену основного сырья и полуфабрикатов в рецептурах плавленых

сыров, расчет себестоимости конечного продукта по сырью, сохранение готовой рецептуры, печать рецептуры на принтере [202].

Задача оптимизации рецептур кондитерских изделий может быть решена на основе объектно ориентированного подхода к моделированию с помощью программы «Multifaz» (свидетельство на программу для ЭВМ № 2009616582) [172]. «Multifaz» проектирует многофазные рецептуры кондитерских изделий в два этапа (рис. 2.22). На первом этапе производится расчет по фазам, на втором — по всему изделию в целом. Программа подходит для решения задач оптимизации рецептур кондитерских изделий по различным критериям минимизации и максимизации с учетом заданных ограничений [206].

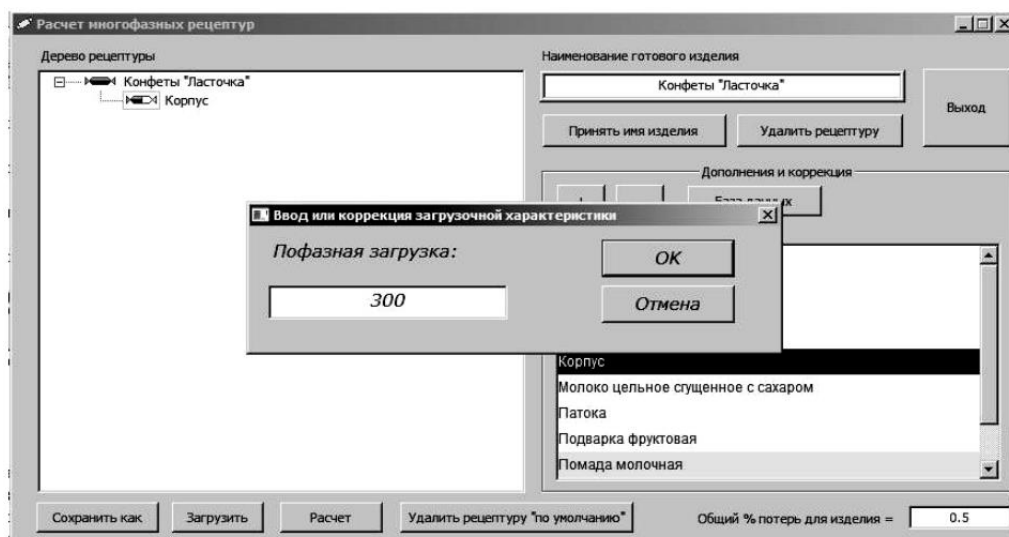


Рис. 2.22. Интерфейс программы «Multifaz»⁵⁹

Существуют бухгалтерские программы составления меню для учреждений общественного питания, которые автоматизируют функции врача-диетолога по расчету питания и учету приготовления блюд на пищеблоках лечебно-профилактических учреждений стационарного типа [190]. Однако такое ПО не решает задач цифровой нутрициологии, поскольку не предполагают вариацию меню применительно к запросу пользователя.

Доктором наук И. А. Никитиным расчет нутриентного состава поликомпонентной питательной смеси с учетом персональных особенностей по-

⁵⁹ <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2010/muratova-a.pdf>.

требителей, предрасположенных к сердечно-сосудистым и эндокринным заболеваниям, был осуществлен при помощи программы «1С: Медицина. Диетическое питание» в модуле «Редактор рецептов» (рис. 2.23). Для выбранной категории потребителей на основе полученной смеси было разработано недельное типовое меню (рис. 2.24) при помощи модуля «Разработка рациона» компьютерной программы «1С:Медицина. Диетическое питание» [178].

Расчет пищевой ценности

Выбрать вид кулинарной обработки: ?

Продукт	К-во	Ккал	Белок	Жир	У/в	ПВ	Вит.С	Вит.А	Вит.В1	Вит.В2	Вит.В6
Молоко пастеризованн...	0,2	120	5,8	6,4	9,4		2,6	44	0,08	0,3	
Смесь	100	370,...	20,4...	10,3...	54,79...	10,...	0,02...	0,1...	0,05103	0,02...	0,074
Мальтодекстрин	0,032	121,6			30,46...						
Цегепал	0,008	72		8							
Изолят соевого белка	0,0123	41,5...	9,92...	0,41...	0,902...	0,6...			0,02091	0,0123	0,0738
Молочный белок	0,0114	33,7...	9,804	0,171	0,57						
Инулин	0,008	14,4			7,2	6,8					
Бониграсса	0,003	20,4	0,15	1,65							
Итоговые характери...		Ккал	Белок	Жир	У/в	ПВ	Вит.С	Вит.А	Вит.В1	Вит.В2	Вит.В6
По продуктовому н...		490,1	26,28	16,78	64,2	10,16	2,62	44,19	0,13	0,32	0,07
Потери при кулинар...											
Итого за блюдо		490,1	26,28	16,78	64,2	10,16	2,62	44,19	0,13	0,32	0,07
Предельная пища...		490,1	26,28	16,78	64,2	10,16	2,62	44,19	0,13	0,32	0,07

Рис. 2.23. Фрагмент окна расчета нутриентного состава поликомпонентной питательной смеси

Общие сведения		Шаблон меню	Меню	Итоги	Предупреждения	Ручные проверки	Данные расчетов				
Н.	Прием пищи	Раздел меню	Понедельник блюдо	выход	Вторник блюдо	выход	Среда блюдо	выход	Четверг блюдо	выход	Пятница блюдо
1	Завтрак	гор.блюдо	Каша вязкая на молоке (из хлопьев овсяных)	250	Омлет натуральный бк	170	Запеканка из творога	175	Каша вязкая молочная (из пшена и риса) "Дружба"	250	Каша жидкая на молоке (речневая)
1	Завтрак	гор.блюдо			Сосиски	140					
1	Завтрак	гор.напи...	Кофе на молоке	140	Чай с лимоном	200	Какао с молоком	200	Чай с молоком	200	Кофе на молоке
1	Обед	закуска	Салат "Летний"	150	Салат витаминный (2-й вариант)	150	Салат из белокочанной капусты	150	Салат картофельный с огурцами или капустой	150	Икра баклажанная
1	Обед	1 блюдо	Щи из свежей капусты с картофелем	250	Борщ с капустой и картофелем	250	Рассольник московский	250	Суп крестьянский с крупой	250	Суп из овощей
1	Обед	2 блюдо	Котлеты натуральные рубленые	225	Биточки рубленые из курицы под ...	325	Бефстроганов	300	Говядина тушеная с черносливом	325	Плов из курицы (2-й вариант)
1	Обед	гарнир	Макаронные изделия отварные	200	Капуста жареная(гарнир)	200	Рис отварной	200	Свекла тушеная	200	
1	Обед	сладкое	Компот из смеси сухофруктов	200	Кисель из кураги	200	Компот из яблок и слив	200	Кисель из клюквы (густой)	200	Компот из апельсинов
1	Обед	хлеб	Хлеб белый	40	Хлеб белый	40	Хлеб белый	40	Хлеб белый	40	Хлеб белый
1	Обед	хлеб	Хлеб черный	60	Хлеб черный	60	Хлеб черный	60	Хлеб черный	60	Хлеб черный
1	Полдник	блюдо	Смесь с молоком	300	Смесь с молоком	300	Смесь с молоком	300	Смесь с молоком	300	Смесь с молоком
1	Полдник	напиток									
1	Ужин	горячее блюдо	Говядина тушеная с черносливом	325	Пудинг из говядины	259	Котлеты рубленые из бройлеров-цыплят с гарниром	300	Зразы из кур с омлетом и овощами	275	Суфле из кур
1	Ужин	гарнир	Рагу овощное (1-й вариант)	100	Сложный гарнир (1-й вариант)	150	Сложный гарнир (3-й вариант)	150	Сложный гарнир (12-й вариант)	150	Сложный гарнир (15-й вариант)

Рис. 2.24. Фрагмент рабочей таблицы меню с включением питательной смеси для людей с предрасположенностью к сердечно-сосудистым и эндокринным заболеваниям

Коллективом авторов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова» создана программа для ЭВМ «Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов» (свидетельство о регистрации № 2015660124 от 22.09.2015). Программа осуществляет проектирование поликомпонентных мясных продуктов, применяется для расчета пищевой, биологической и энергетической ценности мясного продукта, а также витаминного и минерального составов и качественных показателей белкового компонента (КРАС – коэффициент различия аминокислотных скоров, коэффициенты утилитарности и сопоставимой избыточности, биологическая ценность). Алгоритм работы расчетного модуля программы представлен на рис. 2.25.

Также учеными ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В. М. Горбатова» разработана программа для ЭВМ «Конструктор рецептов» (свидетельство о регистрации № 2016616925 от 22.06.2016). Программа позволяет получать данные о пищевой ценности колбасных изделий. Эти данные представляют собой сведения с фиксированными рецептурами, соответствующими требованиям стандартов, и расширенными рецептурами по техническим условиям и технологическим инструкциям,

дающим возможность рассчитать рецептуру продукта при свободном выборе ингредиентов. Программа также позволяет скорректировать и оптимизировать продукты питания по различным критериям, структурировать полученное множество альтернатив и установить оптимальный вариант продукта заданного качества, состава и свойств.

2.5. Цифровые инструменты поиска данных о нутриентных профилях пищевых продуктов и сырья

Одним из современных инструментов цифровой нутрициологии являются базы данных, в первую очередь данных о нутриентном профиле сырья и пищевых продуктов, где в качестве объективного средства измерения характеристик сырья, пищевых продуктов и рационов используются числовые характеристики их пищевой и энергетической ценности.

В простейшем случае базы данных о нутриентном профиле и энергетической ценности представляют собой простые текстовые таблицы (справочники), чаще в формате pdf.

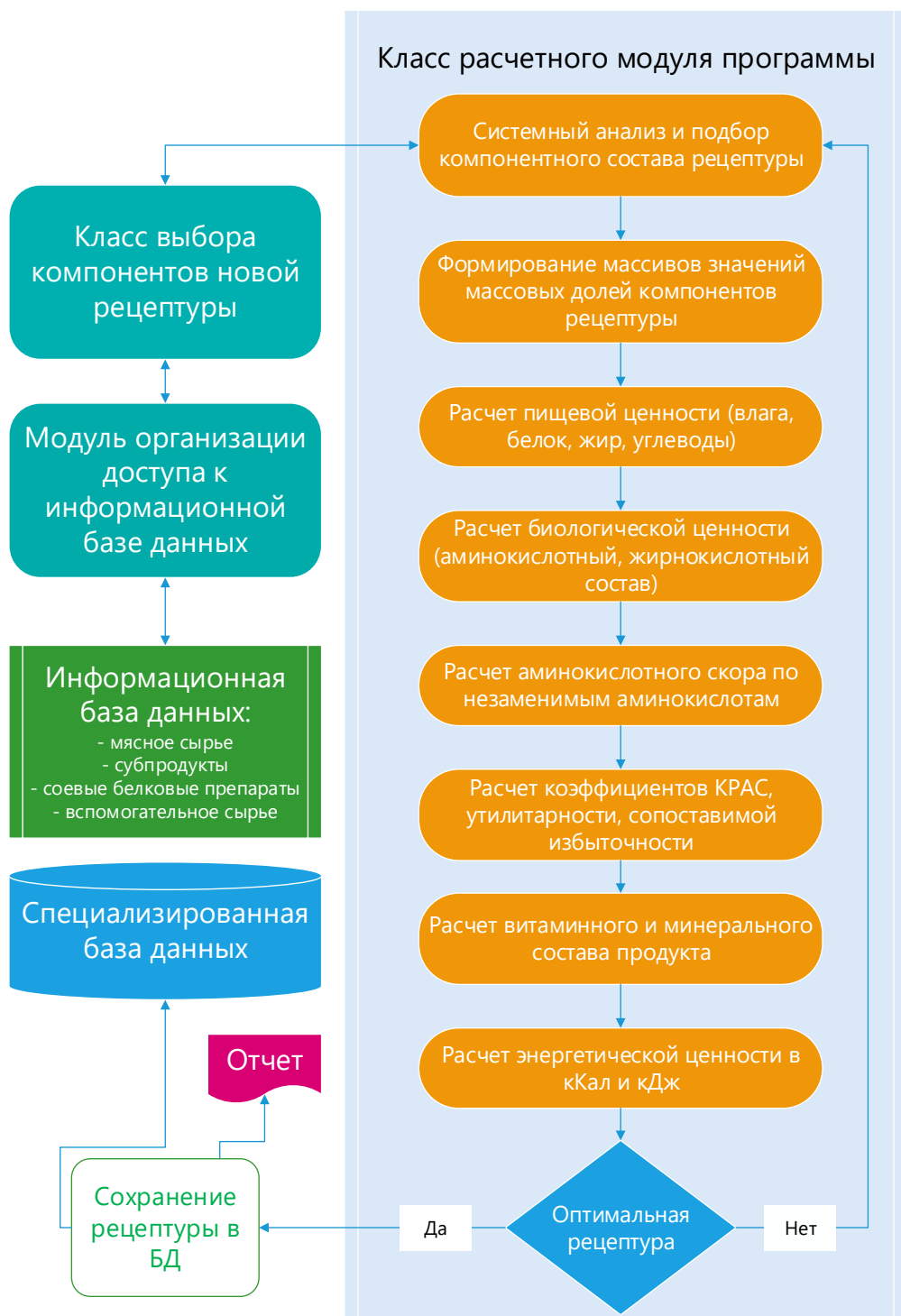


Рис. 2.25. Функциональная схема алгоритма расчетного модуля программы «Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов» (№ 2015660124)

В России еще со времен СССР периодически публиковались справочники о химическом составе отечественных продуктов питания и сырья под редакцией академика В. А. Тутельяна, академика А. А. Покровского, профессора И. М. Скурихина, академика М. Н. Волгарева и др. Существуют и авторитетные переводные справочники на русском языке [203].

Современные базы данных существуют в онлайн-формате, в виде файлов Microsoft Access или Microsoft Excel (табл. 2.7). Так, база данных российских пищевых продуктов размещена на сайте ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи».

В настоящее время в международном сообществе наибольшей популярностью и доверием в качестве обладающего высокой научной достоверностью источника сведений о нутриентном профиле сырья и продуктов пользуется цифровая база данных Лаборатории нутрициологических данных Департамента сельского хозяйства США (United States Department of Agriculture — USDA, Food and Nutrient Database for Dietary Studies, ссылку см. в табл. 2.7). В базе USDA содержатся в свободном доступе данные о более чем 8,5 тысячах продуктов по 150 нутриентам, причем сведения носят официальный характер. Ежегодно выпускается обновленная версия. Поиск можно проводить по конкретному продукту, группе пищевых продуктов, производителям (в основном американским). При желании можно сгенерировать перечень продуктов, упорядоченный по содержанию какого-либо нутриента, а также выгружать различные отчеты. База данных содержит средние значения и статистическую информацию (стандартная ошибка, число повторностей, степень округления, границы доверительного интервала в 95 % и т. д.), сведения о способе получения и источниках сведений.

Н. М. Портновым для НИИ детского питания сделан перевод документации и содержимого базы данных USDA на русский язык с публикацией результатов онлайн⁶⁰ на сайте фирмы «1С: Плановое питание» и официального партнера фирмы «1С» ООО «Агентство Капитан». Данные размещены в базе, разработанной на платформе «1С: Предприятие». Электронная публикация дополнена средствами анализа продуктов в сравнении с существующими в Российской Федерации официальными нормами потребления 2008 г.

⁶⁰ <http://www.1cp.ru/sr27/>.

Таблица 2.7

Базы данных химического состава, доступные на некоммерческой основе⁶¹

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Международная (ФАО)	International network of food data systems (INFOODS) Analytical Food Composition Database (AnFoodD2.0)	http://www.fao.org/3/a-i7360e.pdf http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/AnFoodD2.0.xlsx	Информация доступна для скачивания в формате MS Excel
Россия/ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва	Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации	http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx	Онлайн-инструменты
Россия/Фирма «1С»	База данных нутриентов продуктов USDA NDL (Лаборатория нутрициологических данных Департамента сельского хозяйства США — USDA NDL)	http://www.1cp.ru/sr27/ http://www.1cp.ru/sr27/SR27_doc_ru.pdf Руководство пользователя USDA NDL (на русском языке)	Американская база данных на русском языке. Онлайн-инструменты, по запросу доступ к скачиванию в формате MS Excel
США	USDA National Nutrient Database for Standard Reference	https://fdc.nal.usda.gov/	Доступна для скачивания в формате MS Access

⁶¹ В таблицу включены российские базы данных, а из зарубежных — только базы данных, имеющие вариант представления на английском языке.

Продолжение табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
США	USDA Food and Nutrient Database for Dietary Studies FNDDS	https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/food-surveys-research-group/docs/fndds-download-databases/	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel
США/Аляска	Alaska Traditional Knowledge and Native Foods Database	http://www.native-knowledge.org/start.htm	Онлайн-инструменты
США	The Chemical Composition of American Food Materials	https://www.ars.usda.gov/AR-SUserFiles/80400525/Data/Classics/es028.pdf	Ретроспективная база данных, 1896 г.
Австралия	Australian reference database (NUT-TAB)	https://www.foodstandards.gov.au/science/monitoringnutrients/afcd/Pages/default.aspx	Онлайн-инструменты, скачивание в формате MS Excel
Новая Зеландия	New Zealand FOOD files	http://www.foodcomposition.co.nz/	Онлайн-инструменты
Канада	Canada's national food composition database	http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/index-eng.php	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel, MS Access
Канада (коренные северные народности)	CINE's Arctic Nutrient File	https://www.mcgill.ca/cine/files/cine/Traditional_Food_Composition_Nutribase.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Северная Америка (коренные северные народности)	Traditional animal foods of Indigenous Peoples of Northern America	http://traditionalanimalfoods.org/nutrients.aspx	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel

Продолжение табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Европа/Армения	Food Composition Table for Armenia	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/ArmenianFoodCompositionTable2010.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Европа/Бельгия	Belgian Food Composition Data	http://www.nubel.be/	Требуется регистрация
Европа/Чехия	Czech Food Composition Database	https://www.nutridatabase.cz/en/	Онлайн-инструменты. Для доступа к скачиванию требуется регистрация
Европа/Дания	Food data	https://frida.fooddata.dk/?lang=en	Онлайн-инструменты. Для доступа к скачиванию в формате MS Excel требуется регистрация
Европа/Финляндия	Fineli Finnish Food Composition Database	https://fineli.fi/fineli/en/index?	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel
Европа/Франция	ANSES-CIQUAL French food composition table	https://ciqual.anses.fr/	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel
Европа/Германия	German Nutrient Database: BLS online portal	https://www.blsdb.de/	Требуется регистрация
Европа/Греция	Food composition tables	http://www.hhf-greece.gr/tables/Home.aspx?l=en	Онлайн-инструменты
Европа/Италия	Food Composition database for Epidemiological Studies in Italy	http://www.bda-ieo.it/wordpress/en/?page_id=21	Онлайн-инструменты

Продолжение табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Европа/Нидерланды	Food composition tables	http://www.rivm.nl/en/Topics/Topics/D/Dutch_Food_Composition_Database	Онлайн-инструменты
Европа/Норвегия	Norwegian Food Composition table	http://www.matvaretabellen.no/	Онлайн-инструменты
Европа/Норвегия	NIFES Seafood Data	https://sjomatdata.hi.no/	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате PDF
Европа/Польша	Food composition tables	http://www.izz.waw.pl/en/food-omposition-ata-ase	Требуется регистрация. Часть функций платная.
Европа/Словакия	Slovak online food composition database with free access for public	http://www.pbd-online.sk/en	Онлайн-инструменты
Европа/Испания	Food composition tables	https://www.bedca.net/bdpub/index_en.php	Онлайн-инструменты
Европа/Турция	Turkish Food Composition Database	http://www.turkomp.gov.tr/main	Онлайн-инструменты
Европа/Швеция	Food composition tables	http://www7.slv.se/SokNaringsinnehall/	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel
Европа/Великобритания	Composition of Foods Integrated Dataset CoFID	https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid https://fdnc.quadram.ac.uk/	Онлайн-инструменты. Доступна для скачивания в формате MS Excel
Азия	ASEAN Food Composition Database	http://www.inmu.mahidol.ac.th/aseanfoods/composition_data.html	Требуется регистрация
Азия	Food Composition Table for Use in East Asia	http://www.fao.org/3/X6878E/X6878E00.htm#TOC	Онлайн-инструменты

Продолжение табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Азия	Sustainable Micronutrient Interventions to control deficiencies and Improved Nutritional status and General health in Asia	http://www.nutrition-smiling.eu/	Онлайн-инструменты
Азия/Китай	China Food Composition	http://www.neasiafoods.org	Онлайн-инструменты
Азия/Япония	Standard Tables of Food Composition in Japan	https://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/policy/title01/detail01/1374030.htm	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel
Азия/Корея	Korean Standard Food Composition Table	http://koreanfood.rda.go.kr/eng/fct-FoodSrchEng/engMain	Онлайн-инструменты и скачивание в формате PDF
Азия/Бангладеш	Food Composition Table for Bangladesh	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/FCT_10_2_14_final_version.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel
Азия/Индия	Indian Food Composition Tables	http://www.ifct2017.com/frame.php?page=home	Доступна для скачивания в формате PDF
Азия/Малайзия	Malaysian Food Composition Database (MyFCD)	http://myfcd.moh.gov.my/	Онлайн-инструменты
Азия/Непал	Food Composition Table for Nepal	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/regional/Nepal_Food_Composition_table_2012.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Азия/Пакистан	Food Composition Table for Pakistan	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/regional/Book_Food_Composition_Table_for_Pakistan_.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF

Продолжение табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Азия/Сингапур	Energy and Nutrient Composition of Food	http://focos.hpb.gov.sg/eservices/ENCF/	Онлайн-инструменты
Азия/Таиланд	Thai Food Composition Database	http://www.inmu.mahidol.ac.th/thai-fcd/home.php	Онлайн-инструменты
Азия/Вьетнам	Vietnamese Food Composition Table	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/pdf/VTN_FCT_2007.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Африка	Food composition Table for Use in Africa	http://www.fao.org/docrep/003/X6877E/X6877E00.htm	Онлайн-инструменты
Африка	FAO/INFOODS Food Composition Table for Western Africa	http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca7779b http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/2020/WAFCT_2019.xlsx	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel
Африка/Гамбия	Food Composition Table for use in The Gambia	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/pdf/Gambia04082011.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Африка/Кения	Kenya Food Composition Tables	http://www.fao.org/3/I8897EN/i8897en.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Африка/Нигерия	Nigeria Food Database	http://nigeriafooddata.ui.edu.ng/	Онлайн-инструменты
Африка/Лесото	Lesotho Food Composition Table	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/Lesotho_1-127_pages.pdf http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/LesFCT_final_copyrevised1.xlsm	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel

Окончание табл. 2.7

Регион/страна	Название базы данных	Прямая ссылка на адрес базы данных в Интернет	Примечание
Африка/Малави	MAFOODS. Malawian Food Composition Table	https://dl.tufts.edu/downloads/g158bw806?file-name=d217r336d.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Африка/Южная Африка	SAFOODS	http://safoods.mrc.ac.za/database.html	Онлайн-инструменты. Свободно доступны данные только о белках, жирах, углеводах, пищевых волокнах и энергетической ценности
Африка/Танзания	Tanzania Food Composition Tables	http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/food-tables/	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel
Африка/Уганда	Food Composition Table for Central and Eastern Uganda	https://www.harvestplus.org/node/562	Доступна для скачивания в формате PDF и MS Excel
Африка/Зимбабве	Nutritive Value of Foods of Zimbabwe	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/regional/zim_food_composition_table__1_.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF
Ближний Восток	Food Composition Tables for the Near East	http://www.fao.org/3/X6879E/X6879E00.htm	Онлайн-инструменты
Ближний Восток/Бахрейн	Food Composition Tables for Kingdom of Bahrain	http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/pdf/FOODCOMPOSITONTABLESFORBAHRAIN.pdf	Доступна для скачивания в формате PDF

Нутриентный профиль продукта содержит данные о белках и аминокислотах, жирах и жирных кислотах, углеводах, влаге, минеральных веществах (зола), витаминах, энергетической ценности и некоторые дополнительные сведения, такие как содержание алкоголя и кофеина. Отчеты можно сохранить, распечатать, экспортировать в электронную таблицу или pdf-документ. Имеется функционал инфографики: баланс основных нутриентов — белков жиров и углеводов, структура калорийности — доля в ней основных нутриентов, анализ состава нормируемых нутриентов и аминокислотного состава и аминокислотного сгора в сравнении с нормами ВОЗ⁶². Наглядно видны отклонения продукта (рациона) от рекомендуемых формул сбалансированности — «Белки : Жиры : Углеводы = 1 : 1 : 4» по весу и «Белки : Жиры : Углеводы = 10 : 60 : 30 %» по энергетической ценности.

Международным авторитетом пользуется источник, координируемый ФАО/ВОЗ — International network of food data systems (INFOODS), Chemical Composition of Food Products.

Европейские исследователи в основном пользуются базой данной EuroFIR AISBL⁶³, где аккумулирована информация из 26 европейских стран о пищевых продуктах. Подробнее о проекте EuroFIR далее.

В канадской базе данных «Canadian Nutrient File» представлена информация о средних величинах содержания нутриентов в пищевых продуктах. Основная часть данных экспортирована из американской базы данных «USDA National Nutrient Database for Standard Reference», и сделаны модификации в соответствии с канадскими уровнями обогащения пищевой продукции и регламентирующими стандартами, также добавлена информация о продуктах, характерных только для Канады.

Английский департамент здравоохранения (Public Health England, Department of Health) отвечает за управление данными о нутриентах, содержащихся в английских пищевых продуктах, а также финансирует исследовательскую программу по анализу нутриентов в продуктах питания, характерных для Великобритании. Систематизированные данные вместе с другими дополнительными данными из достоверных источников публикуются

⁶² Protein and amino acids requirements in human nutrition//WHO Technical Report Series, no. 935/Report of a Joint WHO/FAO/UNI Expert Consultation. Geneva, Switzerland, 2002. 284p.

⁶³ <http://www.eurofir.org/>.

в виде книги — справочник МакКанса и Уиддоусона (McCance, Widdowson⁶⁴), а также онлайн в виде базы данных CoFID (Composition of Foods Integrated Dataset). Эта база собрала воедино все доступные данные (макронутриенты — жиры, белки, углеводы; микронутриенты — витамины и минералы) о 1 200 продуктах в электронном формате как единый консолидированный документ [91].

Таким образом, в настоящее время многие страны мира имеют поддерживаемые в актуальном состоянии национальные базы данных о химическом составе продуктов питания, которые, как правило, содержат информацию о составе пищевых веществ, энергетической ценности, некоторых биологически активных веществах пищевых продуктов, типичных для рациона населения данной страны, — в основном это продовольственное сырье, продукты промышленного производства и простые блюда [21, 110]. Такие базы данных могут использоваться с различными целями, например, для следующих задач [21, 31, 11, 20, 16, 80]:

- 1) оценка рациона питания индивидуальных потребителей или групп населения, проведение эпидемиологических и клинических исследований;
- 2) составление рациональных диет для индивидуумов и/или для всей популяции;
- 3) формирование агропродовольственной политики с учетом вопросов общественного здравоохранения, получение образовательной информации;
- 4) поддержание промышленных и ремесленных компаний (малый, средний, крупный бизнес) в разрезе правильности маркировки пищевой ценности их продукции.

Впрочем, следует учесть, что содержание отдельных нутриентов в некоторых пищевых продуктах, доступных во всем мире, сильно варьируется в разных странах из-за разницы в сортах растений и породах животных, разнице в составе почв, климате, агротехнике, принятых процедурах переработки и используемых аналитических методах, а также из-за того, что многие блюда с одним и тем же названием имеют разные состав и свойства в разных странах. Это главная причина, по которой базы данных других стран не могут использоваться во всех ситуациях и актуальны национальные базы данных о составе сырья и продуктов питания [79].

⁶⁴ McCance and Widdowson's The Composition of Foods: Seventh Summary Edition: Edition 7, <https://doi.org/10.1039/9781849737562>.

С учетом глобализации мирового продовольственного рынка следует стремиться к гармонизации структуры национальных баз данных химического состава пищевых продуктов, чтобы исследователи разных стран могли «разговаривать на одном языке» при сопоставлении информации из национальных баз данных, что позволит расширить коллаборацию стран и развивать международное сотрудничество. Этот подход уже нашел реализацию в нескольких международных проектах и способствовал развитию сотрудничества между странами и организациями, например проект EuroFIR (European Food Information Resource), проект INFOODS (International Network of Food Data System) и др.

Проект EuroFIR стартовал в 2005 г., в его реализации принимают участие 48 университетов, научно-исследовательских организаций, малых и средних предприятий из 25 европейских стран [27]. По проекту EuroFIR исследования были посвящены оценке пищевой ценности традиционных блюд европейских стран⁶⁵, и нужны они для того, чтобы понять, что едят европейцы, сопоставить с рекомендациями нутрициологов, а также для включения полученной информации в европейские национальные базы данных химического состава пищевых продуктов. В разработке каталога рецептов традиционных блюд принимали активное участие Университет Вены и Технологический университет Грац (Австрия), Гентский университет (Бельгия), Национальный центр защиты общественного здоровья (Болгария), Национальный продовольственный институт и Датский технический университет (Дания), Федеральный исследовательский центр пищи и питания (Германия), Департамент гигиены и эпидемиологии, Медицинская школа и Афинский университет (Греция), Центр изучения и профилактики онкологии (Италия), Национальный центр питания (Литва), Национальный Институт пищевых продуктов и питания (Польша), Национальный институт здравоохранения (Португалия), Центр современных исследований по питанию и диете и Университет Гранады (Испания), Исследовательский центр «Tubitak Marmara» (Турция). В рамках этих проектов на европейском уровне был подготовлен документ о стандартизированных процедурах разработки и наполнения баз данных химического состава пищевых продуктов, а также разработана европейская платформа данных

⁶⁵ http://www.eurosfair.prd.fr/7pc/documents/1263815324_traditional_foods_recipe_cards.pdf.

о пищевых продуктах Food Explorer⁶⁶. В настоящее время EuroFIR предлагает набор инструментов для обмена валидированными стандартизированными данными — Food Explorer, Food Basket, eBasis и PlantLibra Database [38].

В рамках этого проекта предпринимаются усилия по разработке гармонизированных процедур к изучению пищевых продуктов и питания (описательные процедуры, выборка данных, получение данных и их обработка, аналитический и/или расчетный подход, ссылки), что способствует повышению качества данных, их доступности и сопоставимости [38, 22, 61, 106, 37, 76].

Работа EuroFIR по гармонизации основана на развитии предыдущих европейских проектов по гармонизации. Начиная с 1980-х гг. множество международных проектов было направлено на гармонизацию. Так, по проекту «Eurofoods-Enfant» в рамках программы FLAIR (Food-Linked Agro-Industrial Research) был собран и обобщен огромный массив данных по отходам и потерям во время приготовления блюд (у нас эквивалентом является разница в массе брутто и нетто в рецептуре), однако никакой инструкции по использованию этих данных не было подготовлено. В 1991 г. под эгидой ФАО стартовал проект INFOODS, в рамках которого было опубликовано руководство по расчету пищевой ценности поликомпонентных продуктов и блюд на основе данных о содержании нутриентов в рецептурных ингредиентах [106]. Проект NorFoods стартовал в 1982 г., в нем участвуют организации и учреждения, ответственные за работу по изучению химического состава пищевых продуктов в Дании, Финляндии, Исландии, Норвегии, Швеции и Гренландии. В конце 1990-х гг. NorFoods проведены анализ и сопоставление процедуры расчета рецептур между Скандинавскими странами. Установлена разница в принципах расчета рецептур и учета отходов и потерь при приготовлении блюд [8]. Проект EPIC (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) стартовал в 1990-е гг., он посвящен изучению вопросов питания, здоровья и образа жизни в десяти европейских странах. Этот проект внес существенный вклад в гармонизацию данных о химическом составе европейских пищевых продуктов, была разработана стандартизованная база данных нутриентов EPIC с использованием гармонизированных процедур расчета рецептур и учета норм отходов и потерь [113, 114].

⁶⁶ <http://www.eurofir.org/foodexplorer/login1.php>.

В заключение заметим, что при анализе нутриентных профилей по базам данных следует учитывать естественную вариативность состава продуктов. Величины содержания макро- и микронутриентов в одном и том же наименовании продовольственного сырья или пищевого продукта зависят от ряда факторов (региональные географические особенности, климатические и погодные условия, состав почв, агротехника, наличие или отсутствие удобрений, сорт растения или порода животного и т. д.) и имеют большую вариабельность (до 25–50 % от справочных средних величин). Существуют и международные различия в классификации пищевых продуктов. В связи с этим вопрос о применимости зарубежных баз данных о нутриентном профиле сырья и продуктов при проектировании рецептур остается на усмотрение исследователя.

2.6. Совершенствование пищевых продуктов с использованием возможностей свободного языка программирования GNU R

Авторами [173] предложен алгоритм работы программы по проектированию поликомпонентных продуктов (рис. 2.26). Здесь в первом блоке вводят основной химический состав сырья и его стоимость, накладывают ограничения по составу проектируемого продукта. Во втором блоке задают начальные точки отсчета массы ингредиентов. В третьем блоке записывают балансовые линейные уравнения, целевую функцию и энергетическую ценность продукта. Четвертый блок отражает итерационный процесс приращения массы ингредиентов. Пятый блок — промежуточный вывод массы ингредиентов, шестой блок — выбор среди множества значений массы положительных. В седьмом блоке происходит выбор среди множества вариантов рецептур. И, наконец, на заключительном этапе (восьмой блок) выводятся спроектированная рецептура продукта, его себестоимость и энергетическая ценность.

Для обозначения массовых долей (м.д.) жира, белка, углеводов и влаги введем: P_{ij} , $j=1, \dots, 4$ (вместо четырех отдельно названных наборов величин) и $p_j = \sum_i P_{ij} X_i$ (для их сумм).

Взаимодействие с «внешним миром» (файловой системой, дисплеем, клавиатурой и т. д.) переложено на реализацию языка программирования. Для этого последняя должна включать цикл ввода, вычисления и выдачи результатов (read, eval, print loop; REPL).

Авторами была поставлена задача разработки программного кода, реализующего указанный алгоритм [195]. Программа «Проектирование рецептов» получила официальную государственную регистрацию (свидетельство № 2011611470 от 14.02.2011).

Выбор подходящих языков программирования широк, им может быть, в частности, *Scheme*, *SWI-Prolog* или (поскольку основой задачи являются поэлементные и алгебраические операции над векторами) язык, подобный *GNU R* или *GNU Octave*.

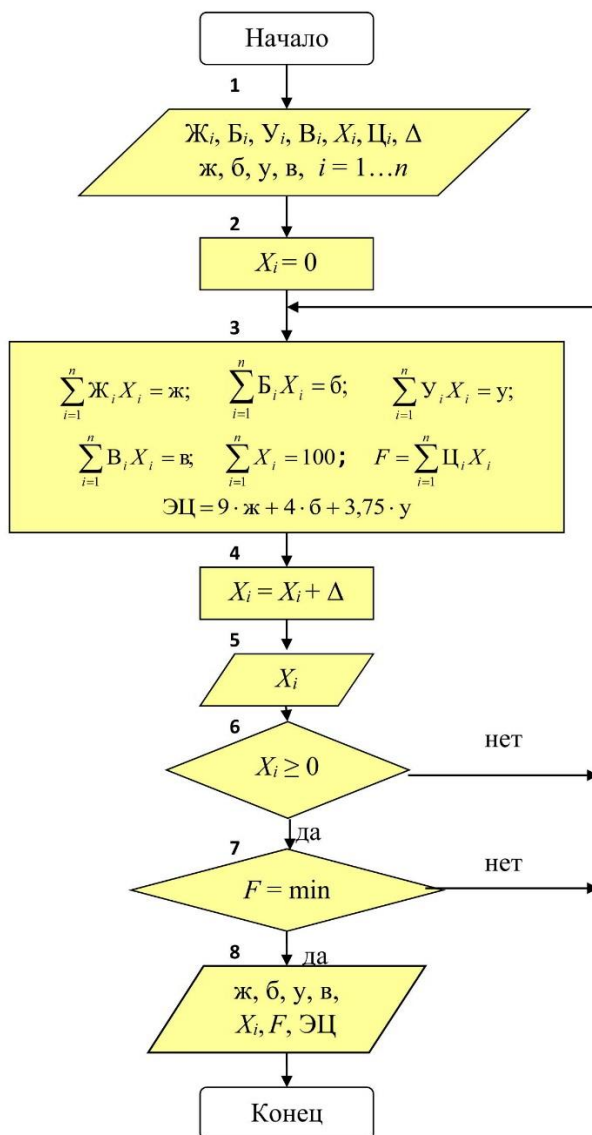


Рисунок 2.26. Алгоритм работы программы по проектированию продуктов:

X_i — масса i -го ингредиента; $Ж_i$ — м.д. жира в i -м ингредиенте; $Б_i$ — м.д. белка в i -м ингредиенте; $У_i$ — м.д. углеводов в i -м ингредиенте; $В_i$ — м.д. влаги в i -м ингредиенте; n — количество ингредиентов; Δ — интервал приращения; $ж, б, у, в$ — м.д. соответственно жира, белка, углеводов и воды в проектируемом продукте; $Ц_i$ — стоимость i -го ингредиента; F — функция цели (в данном примере себестоимость); ЭЦ — энергетическая ценность продукта

Описываемая далее программа была создана на языке *GNU R*⁶⁷. Вероятно, использование *Prolog* позволило бы сделать «комбинаторную» часть программы более ясной, но известные реализации этого языка не предлагают столь обширных библиотек вычислительных методов, которые существуют для *GNU R*.

Программный код оформлен как набор (библиотека) функций языка *GNU R*, допускающих как непосредственное использование оператором посредством встроенного в среду *GNU R* цикла ввода, вычисления и выдачи результатов, так и построение на его основе иных интерфейсов (графического пользовательского, интерфейса пакетной обработки и т. д.). При непосредственном использовании оператор может задавать любое количество видов сырья и количество их свойств (характеристик). Оператор передает на исполнение программный модуль, вносит исходные данные и получает решение, т. е. на пользовательском уровне диалог с программой сводится к вводу команд — получению решения (собственно рецептуры).

Немаловажным является тот факт, что типом реализующей ЭВМ могут являться наиболее распространенные ПК-платформы: IBM PC-совместимые ПК и ПК Macintosh.

Использование в качестве программной платформы языка программирования *GNU R* позволило выполнить программный код в значительной степени независимым от используемого аппаратного обеспечения и операционной системы (ОС).

Программный код совместим с любой аппаратной платформой, для которой существует или будет разработана в будущем реализация языка *GNU R* (и библиотеки *Matrix*), в частности со следующими аппаратными платформами и ОС: Microsoft Windows, Linux, Mac OS X и др.

Для нашей постановки задачи одно решение, исходное, всегда существует. Возможны случаи, когда такое решение нельзя улучшить (т. е. уменьшить цену при сохранении прочих свойств), например, если имеется

⁶⁷ <http://www.r-project.org/>.

лишь один компонент или же два компонента, вектора свойств которых ортогональны, и т. п. Следует рассмотреть и возможность решения в случае, если никакие из векторов свойств компонентов не образуют базис в пространстве свойств.

Заметим, что под «свойствами» мы подразумеваем массы, «сохранение свойств» — это сохранение масс и, значит, сохранение общей массы продукта, т. е. какова бы ни была масса «улучшаемого» продукта, масса «улучшенного» должна быть ей равна. Массы сырьевых компонентов в рецептуре изменяются, но «свойства» конечного продукта — массы белка, углеводов и т. д. — остаются постоянными.

Для поиска решения методом перебора требуется «пересчитать» все возможные решения. Следовательно, нужно определить условия существования решения. Выдвинута гипотеза о существовании (за исключением «вырожденных» случаев) в пространстве свойств базиса, составленного из векторов свойств компонентов как необходимого условия существования решения. Интересно, что если существуют два таких базиса, не содержащих общих векторов, то любая линейная комбинация соответствующих таким базисам решений (векторов Δw_j) также будет решением. Впрочем, это не требуется учитывать в алгоритме особо, поскольку в рамках заданного δ -ограничения, если оное сформулировать как $w = |\bar{w}| \leq \delta$, соответствующее изменение ΔP_N также окажется «промежуточным». С другой стороны, все возможные базисы будут рассмотрены, а значит, если существуют более оптимальные базисы, составленные из векторов, указанных двух, то они будут найдены.

Особо коснемся «вырожденных» случаев. Случай первый: имеется вектор свойств $\backslash \text{вес } \bar{p}_j$, параллельный желаемому изменению $\Delta \bar{P}$. Здесь все очевидно.

Второй случай рассмотрим на примере $N = 3$. Пусть существуют такие $\bar{q}_1, \bar{q}_2$ из множества $\{p_j\}$, $\bar{q}_1 \neq \bar{q}_2$, что $\Delta \bar{P}$ является их линейной комбинацией. Представим ось P_3 (а следовательно, и параллельный ей и орту $\bar{e}_3$ вектор $\Delta \bar{P}$) направленной вертикально вверх. При сложении двух векторов, коллинеарных заданным, результирующий вектор лежит в плоскости, образованной заданными векторами, и находится «между» ними. Однако по постановке задачи координаты векторов $\bar{p}_j$ неотрицательны. Поэтому, исключив вырожденный случай выше, никакие два из них, даже образуя

содержащую орт $\bar{e}_3$ плоскость, не могут лежать «по разные стороны» от этого орта (поскольку для этого потребовалось бы, чтобы проекции этих векторов на плоскость, ортогональную $\bar{e}_3$, были антиколлинеарны, а значит, координаты должны были бы иметь разные знаки), что противоречит условию. Следовательно, этот случай не приводит к решению.

Таким образом, каждый из параллельных $\Delta\bar{P}$ векторов $\bar{p}_j$ и каждый найденный базис $\{\bar{q}_k\}$ дают по одному решению. Каждое решение характеризуется величиной «улучшения» — скаляром $|\Delta\bar{P}| = -\Delta\bar{P}_N$, а также вектором смещения состава $\Delta\bar{w}$, длина которого по условию не превышает δ . Поскольку величина $\Delta\bar{P}_N$ пропорциональна длине вектора $\Delta\bar{w}$, максимальные значения $\Delta\bar{P}_N$ будут соответствовать максимальным длинам $\Delta\bar{w}$, иными словами $|\Delta\bar{w}| = \delta$. Такие решения можно назвать «главными». Очевидно, что любая их линейная комбинация (при дополнительном ограничении $|\Delta\bar{w}| \leq \delta$) также будет являться решением исходной задачи. Такое свойство является крайне важным, поскольку в действительности такого рода задачи не являются линейными, и, более того, границы линейности не всегда известны заранее. Иначе говоря, наличие семейства решений дает возможность выбрать такое, которое не выходит за границы линейности.

Следует описать процесс получения собственно решений из найденных векторов w'_j (или смещений $\Delta\bar{w}_j$). Поскольку множество решений задачи конечно и не превышает $M! / N!$ (где M — количество компонент, N — количество свойств), причем M и N — малы, оптимальные решения могут быть найдены перебором (что удобно реализовать на языке, подобном *Prolog*).

Заметим, что в алгоритмической постановке задачи отсутствует условие равенства суммы рецептурных компонентов 100 %. В противном случае возможные значения для вектора $\Delta\bar{w}_j$ были бы ограничены в общем случае эллипсоидом, в то время как удобнее выбрать такие множители для компонент, чтобы границей была сфера. Впрочем, отличие будет лишь в случае, если границы допустимых изменений по компонентам будут различны в долях.

Интересно, что задача может быть решена полностью аналитически, что и будет показано ниже.

Поставим задачу математически. Пусть свойства некоторого объекта $P_{i,j} = 1, \dots, N$ линейно зависят от свойств p_{ji} , $j = 1, \dots, M$ составляющих его в соотношении, заданном вектором w_j , компонентом:

$$P_i = \sum_{j=1}^M (w_j \cdot p_{ji}). \quad (2.8)$$

Считаем, что нормировка не требуется.

Сформулируем задачу оптимизации как задачу нахождения такого нового вектора w'_j , что все, кроме N -го, соответствующие новому соотношению свойства идентичны исходным, $P'_i = P_{i,j} = 1, \dots, N-1$, в то время как N -е свойство для нового соотношения не превышает такого для исходного, $P'_N \leq P_N$. Таким свойством может быть, например, цена проектируемого продукта.

Пусть при этом также задан некоторый диапазон допустимых изменений вектора w_j . Без нарушения общности можно положить, что такой диапазон задан отношением $|\Delta w_j| < \delta$.

Обратившись к основам линейной алгебры, получим следующее. Можно заметить, что соединяющий в пространстве свойств точки исходного P_i и результирующего P'_i объектов вектор (обозначим его ΔP_i) антиколлинеарен орту $\bar{e}_N$.

Для решения задачи нахождения соответствующего такому смещению в пространстве свойств вектора смещения в пространстве весов $\Delta w_j = w'_j - w_j$ требуется представить вектор ΔP_i в виде линейной комбинации векторов $\{\bar{p}_j\}$ свойств компонент; $\bar{p}_j \bar{e}_i = p_{ji}$. Очевидно, коэффициенты такой линейной комбинации и составят искомый вектор Δw_j .

Для существования такого разложения достаточно, но не необходимо, чтобы некоторые N векторов из $\{\bar{p}_j\}$ образовывали базис, т. е. были линейно независимы, для чего, очевидно, $M \geq N$.

Оставив пока без внимания возможные решения в случае отсутствия такого базиса, рассмотрим случай, когда некое подмножество $\{\bar{p}_k\}$

множества векторов свойств $\{\vec{p}_j\}$ все же образует базис. Тогда разложение вектора $\Delta\vec{w}$ выполняется по новому базису:

$$\Delta w_k = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \vec{e}_i \vec{q}_k. \quad (2.9)$$

Из такого разложения, искомые Δw_j могут быть получены простой перестановкой i , если $N < M$, дополнением нулями.

Вернемся, однако, к нашим рассуждениям. Интересно, что можно упростить задачу, если на время забыть о существовании «стоимости». В предложенной изначально постановке задача сводилась к разложению вектора, параллельного одной из осей координат («стоимости») базису, образованному некоторым набором из векторов свойств компонентов. Если же исключить эту координату из рассмотрения, задача сводится к разложению нулевого вектора в нетривиальную линейную комбинацию таких векторов. Нетривиальная линейная комбинация векторов, образующих базис в заданном пространстве, всегда дает ненулевой вектор в нем. Таким образом, для решения задачи достаточно найти все сочетания векторов свойств, которые не образуют базис.

По-видимому, в контексте поставленной задачи «главными» окажутся решения, которые соответствуют таким, не образующим базис наборам из N векторов, что $N - 1$ из них образуют базис.

Для определения того, образует ли базис заданный набор векторов, можно применить алгоритм Гаусса приведения определителя к треугольному виду (легко обобщаемый на данный случай). Приведем пример работы.

```
?- basis_weak([[1, 0], [0, 1]], TRI).
TRI = [[1, 0], [0, 1]] ;
false.
?- basis_weak([[1, 2, 3], [5, 6, 7]], TRI).
TRI = [[1, 2, 3], [0, -4, -8]] ;
false
?- basis_weak([[1, 2, 3], [2, 4, 6]], TRI).
false.
?-
```

Алгоритм перебора, таким образом, становится ясен. Пусть из исходного множества векторов A выбрано некоторое подмножество B , такое, что составляющие его вектора образуют базис. Выберем такой $\vec{p} \in A$, что $\vec{p} \notin B$. Элементы множества C , полученного присоединением $\vec{p}$ к B , либо образуют базис, либо линейно зависимы. В первом случае мы можем повторить этот шаг, выбрав C в качестве множества B . Иначе, мы получили решение. Перебирая все варианты выбора $\vec{p}$ на каждом шаге, мы получим все «главные» решения.

В зависимости от характера ограничений на изменение коэффициентов линейной комбинации («весов») наиболее оптимальными будут либо «главные» решения, либо их линейные комбинации.

«Главные» решения, найденные на этом этапе, представляют направления в пространстве весов, движение вдоль которых сохраняет свойства объекта — всех, кроме «стоимости». Исследуя поведение функции стоимости вдоль полученных направлений, можно решить и задачу оптимизации.

Поясним ход наших мыслей. Поскольку оптимизацией считаем такое изменение состава, которое, снижая цену, не изменяет свойств, нужно сначала определить такие наборы изменений состава, которые не изменяют свойств, а затем проверить, как они изменяют цену.

Рассмотрим следующий простой случай. Начальный состав: $[1, 1]$; стоимости: $[1, 10]$; свойства: $[1], [2]$. Очевидно, что любое изменение состава на величину $\alpha[2, -1]$, при любом $\alpha \in \mathbb{R}$, сохранит вектор свойств $\vec{P}$, но может изменить стоимость c . Например:

$\vec{w}$	$\Delta \vec{w}$	$\alpha \vec{P}$	c
$[1, 1]$	$[0, 0]$	0	$[3] \ 11$
$[1.10, 0.95]$	$[+0.10, -0.05]$	$+0.05$	$[3] \ 10.6$
$[0.92, 1.04]$	$[-0.08, +0.04]$	-0.04	$[3] \ 11.32$

Ясно, что в данном случае выгодно сместиться вдоль найденного «главного вектора» настолько, насколько это возможно. Например, если

известно, что пятипроцентное изменение состава не скажется на свойствах проектируемого продукта, то искомое решение: $\vec{w} = [1.05, 0.975]$, $c = 10.8$. Если допустимо только двухпроцентное изменение: $\vec{w} = [1.02, 0.99]$, $c = 10.92$. Если же допуск составляет 10 %: $\vec{w} = [1.10, 0.95]$, $c = 10.6$.

Как видно, найденное «главное» решение позволяет отвлечься от сохраняемых $\vec{P}$ -свойств (поскольку заведомо известно, что таковые будут сохранены) и сосредоточить все внимание на стоимости.

Если же отказаться от минимизации стоимости и проектировать рецептуру исходя из желания получить продукт с заранее заданным составом (например, определенной массовой долей жира, белка, углеводов), то легко получить множество вариантов рецептов, однако сложно предсказать свойства конечного продукта: мы принимаем во внимание пищевую и энергетическую ценность продукта, поскольку они аддитивны; потребителя же интересует вкус, который не аддитивен и, следовательно, не может рассматриваться в рамках обсуждаемой модели.

В поставленной задаче можно последовательно рассмотреть следующие три ограничения на решение:

- решение должно быть «недалеко» (в пространстве $\vec{w}$ – весов или составов) от некоторого заранее известного («улучшаемого»);
- соответствующие решению свойства (формальные признаки, $\vec{P}$) должны быть идентичны таковым «улучшаемого» решения;
- стоимость должна быть ниже.

Решение начато с ограничения «идентичности», поскольку именно это условие позволяет выделить в $\vec{w}$ -пространстве «упорядоченное» (т. е. для которого известен некий «алгоритм перебора») подпространство, которому и будут принадлежать все решения.

Поиск «главных» решений полным перебором реализовать несложно:

```
lmo_cardinal(CARDINAL, PROPERTIES) :-
    lmo_threshold_sqr(TH_SQR),
    lmo_cardinal(CARDINAL, PROPERTIES, TH_SQR).

lmo_cardinal(CARDINAL, PROPERTIES, TH_SQR) :-
    lmo_cardinal(CARDINAL, PROPERTIES, TH_SQR, []).
```

```
lmo_cardinal(CARDINAL, PROPERTIES, TH_SQR, BASIS) :-
    append(_, [PV | REST], PROPERTIES),
    \+ zero_vector(PV, TH_SQR),
    NEW = [PV | BASIS],
    (
        basis_weak(NEW, _, TH_SQR) ->
        lmo_cardinal(CARDINAL, REST, NEW, TH_SQR) ;
        CARDINAL = NEW
    ).
```

Результирующим следует сделать вектор индексов, а не вектор самих векторов свойств — иначе не будет удобно обращаться к элементам вектора стоимостей.

Отметим, что, вероятно, перебора «главных» решений будет достаточно, если ограничивается длина вектора изменения состава, а не величина изменения его компонентов. Другими словами, этот вектор находится в Δ -сфере, но в Δ -кубе, в последнем случае линейная комбинация «главных» решений, возможно, окажется более оптимальной, чем каждое из них в отдельности.

Следует уточнить, что результатом выполнения команды `lmo_cardinal` является «главное» решение задачи — подмножество векторов свойств, состоящее из базиса и одного линейно зависимого вектора, в то время как для вычислений требуется главное направление — вектор в пространстве составов. Найти такой вектор по «главному» решению можно, разложив любой из векторов последнего в базис, образованный остальными, иначе говоря, решив систему линейных уравнений вида: $A\vec{x} = \vec{b}$, где $\vec{b}$ — выбранный вектор, $\vec{x}$ — искомый, A — матрица, составленная из векторов, образующих базис.

При определении, образует ли конкретное подмножество базис, данная матрица уже приводится к треугольному виду, что дает половину решения, известного как прямой ход Гаусса. Остается реализовать обратный ход Гаусса.

Найти окончательное решение по заданному главному направлению можно будет, по-видимому, подобно:

```
lmo_final(COMPORIG, COSTV, DELTA, DIRECTION, COMPOSITION) :-
```

```

vector_scalar_product(COSTV, DIRECTION, COSTCHANGE),
vector_len_sqr(DIRECTION, DIR_LEN_SQR),
SCALE is -1 * sign(COSTCHANGE) * (DIR_LEN_SQR ** (-1 rdiv 2)),
vector_scale(DIRECTION, SCALE, DIR),
vector_add(COMPORIG, DIRECTION, COMPOSITION) .

```

Итоговая стоимость является скалярным произведением полученного вектора состава на вектор стоимостей: `vector_scalar_product (COSTV, COMPOSITION, FINAL_COST)`.

В ходе эксплуатации программы «Проектирование рецептуры» выявлены некоторые ее недостатки, которые вряд ли окажутся важными для решения малых задач.

Во-первых, реализовано QR-разложение вместо LU-разложения, поскольку реализация последнего в *GNU R* допускает использование только квадратных матриц; перебор вариантов реализован не самым эффективным образом, в частности, в отличие от *Prolog*, авторам неизвестны простые способы реализовать «ранний останов» для перебора в *GNU R*.

Во-вторых, в коде нет условия на отличность от нуля коэффициентов при всех векторах свойств, выбранных для решения: если существует решение, использующее линейную комбинацию M (из общего количества в N) векторов свойств, то функция `cardinals1` также обязательно возвратит и все решения, использующие $(M + 1, \dots, N)$ свойств — с нулевыми коэффициентами при «лишних» векторах свойств. В этом возможна «скрытая угроза», однако, поскольку решения не могут быть потеряны, а действительно лишние решения не могут появиться (найденный вектор улучшения проверяется в дальнейших строках кода, и решение принимается только если произведение его на матрицу свойств — нулевой вектор), то, по-видимому, данная проблема лишь снижает эффективность перебора и эстетичность решения, но не приводит к фактическим ошибкам. Тестирование программы показало, что неоднозначность не приводит к отказу или исключению при выполнении команды `qr.solve`.

В итоге объем кода созданной нами программы по проектированию продуктов составил 87 строк, что косвенно свидетельствует об удачности выбора платформы для реализации.

Возвратимся к вышеприведенному примеру (начальный состав: [1, 1]; стоимость: [1, 10]; свойства: [1], [2]).

Для изменения в δ -шаре радиуса $\delta = |\Delta \vec{w}| = \sqrt{0,0125}$ имеем:

```
source ("lmo-2010-10-16.R");
props <- matrix (c (1, 2), nrow = 1, ncol = 2);
costs <- c (1, 10);
delta <- sqrt (0.0125);
car = cardinals (props);
d <- optimize (car, costs, delta);
d;
```

	cost.change	comp.change.1	comp.change.2
1	-0.4	0.1	-0.05

Как видно, решение совпало с полученным ранее, программа решила поставленную задачу верно.

Отметим, что поскольку в общем случае вектор $\vec{a}$ представим в виде линейной комбинации векторов $\vec{b}_1, \dots, \vec{b}_N$ (ни один из коэффициентов при которых не ноль), то и любой из векторов $\vec{b}_i$ представим в виде линейной комбинации векторов $\vec{b}_1, \dots, \vec{b}_{i-1}, \vec{a}, \vec{b}_{i+1}, \dots, \vec{b}_N$. Следовательно, любой из векторов, упомянутых в единственном решении, может быть выражен через остальные векторы. Получаемый вектор коэффициентов линейной комбинации векторов свойств (comp.change.N) соответствует нулевому изменению свойств объекта (кроме цены) в целом.

Излишне упоминать, что диапазон решаемых программой задач не ограничивается приведенным выше примером с двумя видами сырья, имеющего две характеристики состава и цены. Определяемое пользователем количество видов сырья и количество характеристик для каждого сырья могут быть любыми.

Интерфейс программы фактически приведен выше: оператор передает на исполнение имеющийся программный модуль (команда source), после чего вносит исходные данные (определяя переменные props, costs, delta, car) и получает решение (d). Таким образом,

на «пользовательском» уровне диалог с программой сводится к вводу команд — получению результатов (так называемый «цикл чтения, вычисления, выдачи результатов», АКА Read-Eval-Print Loop, REPL). В целом эксплуатацию созданной нами программы можно сравнить с использованием библиотек для *GNU Octave* или родственного ей *Matlab*.

В мире свободного программного обеспечения такой интерфейс распространен весьма широко. Создание «визуального» интерфейса принципиально возможно, однако требует дополнительных усилий на разработку и, более того, несет риск снижения функциональности программы.

Для использования такого рода программ в «графическом окружении» применяется программное обеспечение, нередко называемое «эмуляторами терминала» (речь идет о так называемых «алфавитно-цифровых терминалах», интерфейс для доступа к которым в Unix-среде поддерживается в почти неизменном виде из соображений совместимости). В частности, в качестве эмулятора терминала можно использовать *Xterm*.

Итак, авторами создана и официально зарегистрирована программа «Проектирование рецептов», предназначенная для оптимизации рецептов пищевых продуктов, причем под оптимизацией понимается снижение стоимости продукта при сохранении его свойств. Программа поможет оперативно составлять оптимизированные рецепты продуктов из имеющегося сырья. Программный код оформлен как набор (библиотека) функций языка *GNU R*, обеспечивающих существенную независимость кода от используемого аппаратного обеспечения и ОС, допускающих как непосредственное использование оператором из среды *GNU R*, так и встраивание в другие программы. Может быть задано любое количество видов сырья и количество свойств (характеристик). Полученное решение недалеко от заранее известного («улучшаемого»); соответствующие решению свойства идентичны таковым «улучшаемого» решения; стоимость ниже. В результате работы программы выдается решение — информация о рецептуре продукта, а также о его свойствах и уменьшении стоимости.

Пример работы программы

Ситуация. Необходимо удешевить рецептуру смеси мороженого, не меняя существенно (длина вектора смещения состава не превышает задаваемой пользователем величины *delta*) конечных характеристик продукта (его жирности, влажности и других свойств).

Имеющееся сырье:

- 1) молоко (жир 4 %, СОМО 8,15 %, сахар 0 %, вода 87,85 %, цена 6,84 руб./кг);
- 2) масло крестьянское (72,5; 2,5; 0; 25; 44,54);
- 3) сухое обезжиренное молоко (0; 95; 0; 5; 44,61);
- 4) сахар (0; 0; 100; 0; 15,27);
- 5) молочная сыворотка (0,37; 6,5; 0; 93,13; 2,5).

Критерий оптимизации — минимальная себестоимость смеси мороженого. Улучшаемая (удешевляемая) рецептура (на 100 кг смеси): молоко 35 кг, масло 14,5; сухое обезжиренное молоко 5,2; сахар 16; молочная сыворотка 28,8.

Решение. Поскольку код программы является библиотекой, в нем определены лишь функции; исходные данные для проектирования (характеристики сырья, его стоимость) передаются функциям как аргументы.

Пояснения к коду

Код программы	Пояснение кода
source ("lmo-2010-11-22.R")	Загрузка библиотеки
prop1 <- matrix (c (.04, .0815, .0, .8785, .725, .025, .0, .25, .0, .95, .0, .05, .0, .0, 1.0, .0, .0037, .065, .0, .9313), byrow = FALSE, nrow = 4, ncol = 5);	Матрица свойств, количество столбцов и строк
cost1 <- c (6.84, 44.54, 44.61, 15.27, 2.5);	Вектор стоимостей
delta <- sqrt (0.0125);	Величина delta
car = cardinals (props);	Поиск главных решений
d <- optimize (car, costs, delta);	Поиск оптимального решения
d;	Вывод решения средствами REPL (цикл ввода, вычисления и выдачи результатов (read, eval, print loop; REPL)
cost.change comp.change.1 comp.change.2 comp.change.3 comp.change.4 comp.change.5	Изменение стоимости (cost) и необходимые для этого изменения содержания сырьевых компонентов в рецептуре (comp.change.1 — первый компонент и т. д.)

Для начала свойства представим в форме, подобной приведенной ниже (содержание в долях от единицы):

Жир в молоке	СОМО в молоке	Сахар в молоке	Вода в молоке
Жир в масле	СОМО в масле	Сахар в масле	Вода в масле
Жир в сухом молоке	СОМО в сухом молоке	Сахар в сухом молоке	Вода в сухом молоке
Жир в сахаре	СОМО в сахаре	Сахар в сахаре	Вода в сахаре
Жир в сыворотке	СОМО в сыворотке	Сахар в сыворотке	Вода в сыворотке

На языке программы:

```
prop1 <- matrix (c (.04, .0815, .0, .8785,
.725, .025, .0, .25,
.0, .95, .0, .05,
.0, .0, 1.0, .0,
.0037, .065, .0, .9313),
byrow = FALSE, nrow = 4, ncol = 5);

cost1 <- c (6.84, 44.54, 44.61, 15.27, 2.5);
```

Перейдем к представлению состава в долях от исходного, для чего поделим свойства каждого из компонентов на его долю в составе (состав улучшаемой рецептуры: молоко 35 кг, масло 14,5; сухое обезжиренное молоко 5,2; сахар 16; сыворотка 28,8):

```
compo <- c (.35, .145, .052, .16, .288);
props <- prop1 / rep (compo, each = 4);
costs <- cost1 / compo;
props

[,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
[1,] 0.1142857 5.0000000 0.0000000 0.0 0.01284722
[2,] 0.2328571 0.1724138 18.2692308 0.0 0.2256944
[3,] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 6.25 0.000000
[4,] 2.5100000 1.7241379 0.9615385 0.0 3.2336806

costs
[1] 19.54286 3.0717241 857.88462 95.437500 8.680556
```

Возможности инструментария цифровой экономики в вопросах разработки...

жир в молоке / сод-е молока в рецептуре	жир в масле / сод-е масла в рецептуре	жир в сухом молоке / сод-е сухого молока в рецептуре	жир в сахаре / сод-е сахара в рецептуре	жир в сыворотке / сод-е сыворотки в рецептуре
0,04 / 0,35 = = 0,1142857	0,725 / 14,5 = 5	0 / 0,052 = 0	0 / 0,16 = 0	0,0037 / 0,288 = = 0,012847
СОМО в молоке / сод- е молока в рецептуре	СОМО в масле / сод-е масла в рецептуре	СОМО в сухом молоке / сод-е сухого молока в рецептуре	СОМО в сахаре / сод-е сахара в рецептуре	СОМО в сыворотке / сод-е сыворотки в рецептуре
0,08115 / 0,35 = = 0,232857	0,025 / 14,5 = = 0,1724138	0,95 / 0,052 = = 18,269230	0 / 0,16 = 0	0,065 / 0,288 = = 0,2256944
сахар в молоке / сод-е молока в рецептуре	сахар в масле / сод-е масла в рецептуре	сахар в сухом молоке / сод-е сухого молока в рецептуре	сахар в сахаре / сод-е сахара в рецептуре	сахар в сыворотке / сод-е сыворотки в рецептуре
0 / 0,35 = 0	0 / 14,5 = 0	0 / 0,052 = 0	1 / 0,16 = 6,25	0 / 0,288 = 0
вода в молоке / сод-е молока в рецептуре	вода в масле / сод-е масла в рецептуре	вода в сухом молоке / сод-е сухого молока в рецептуре	вода в сахаре / сод-е сахара в рецептуре	вода в сыворотке / сод-е сыворотки в рецептуре
0,8785 / 0,35 = = 2,51	0,25 / 14,5 = = 1,7241379	0,05 / 0,052 = = 0,9651538	0 / 0,16 = 0	0,9313 / 0,288 = = 3,233680
цена молока / сод-е молока в рецептуре	цена масла / сод-е масла в рецептуре	цена сухого молока / сод-е сухого молока в рецептуре	цена сахара / сод-е сахара в рецептуре	цена сыворотки / сод-е сыворотки в рецептуре
6,84 / 0,35 = = 19,54286	44,54 / 14,5 = = 3,0717241	44,61 / 0,052 = = 857,8846	15,27 / 0,16 = = 95,43750	2,5 / 0,288 = = 8,680556

Найдем теперь решение (delta выбрана произвольно):

```
delta <- sqrt (0.0125);
car <- cardinals (props);
d <- optimize (car, costs, delta);
d
```

```
cost.change
1 -0.3038709
2 -0.3038709
```

```
comp.change.1 comp.change.2 comp.change.3 comp.change.4
comp.change.5
-0.07944625 0.001659928 0.0002469697 0 0.06070812
-0.07944625 0.001659928 0.0002469697 0 0.06070812
```

Прим. 1. По две цифры, так как в коде некоторые варианты проверяются дважды.

Прим. 2. Если улучшаемое решение идеально (в рамках рассматриваемого алгоритма), то итоговая таблица будет пуста.

Иными словами, исходную рецептуру нужно изменить, как указано в выданном программой решении (столбцы `comp.change.1...comp.change.5`; в долях от исходного состава), чтобы получить изменение в цене порядка – 0,3 %.

Чтобы получить **окончательное решение** (т. е. на сколько именно нужно увеличить (или уменьшить) содержание в рецептуре мороженого каждого сырьевого компонента), требуется поделить⁶⁸ поэлементно вектор изменений (`comp.change.1...comp.change.5`) на вектор исходного состава (доли в улучшаемой рецептуре):

Что делать	(-0,07944625) / 0,35	(0,001659928) / 0,145	(0,00024697) / 0,052	(0) / 0,16	(0,06070812) / 0,288
=	0,1230107143	0,1564477793	0,0567494173	0,1600000000	0,4987920833

Вполне допустимо домножить найденные изменения на произвольный коэффициент (но так, чтобы изменения не стали менее 100 %) — четыре описываемых свойства (жир, СОМО, сахар, вода) результата (конечного продукта — мороженого) останутся прежними.

Итак, программа предлагает следующую «улучшенную» рецептуру мороженого:

Сырье	Молоко	Масло	Сом	Сахар	Молочная сыворожка
Доли в рецептуре	0,1230107143	0,1564477793	0,0567494173	0,1600000000	0,4987920833
Цена	6,84	44,54	44,61	15,27	2,5

Или, то же самое в процентах:

⁶⁸ Такое поведение следует из свойств обратной матрицы.

Сырье	Молоко	Масло	Сом	Сахар	Молочная сыворотка	Проверка
Процент в рецептуре	12,3	15,6	5,7	16,0	49,9	Сумма цифр слева = 99,5 %

Проверка правильности расчетов:

Сырье	Молоко	Масло	Сом	Сахар	Молочная сыворотка	Сумма сырья должна быть 100 % (единица)
Улучшаемая (исходная) рецептура	0,35	0,145	0,052	0,16	0,288	$(0,35 + 0,145 + 0,052 + 0,16 + 0,288) = 0,995$
Улучшенная (конечная) рецептура	0,1230107143	0,1564477793	0,0567494173	0,1600000000	0,4987920833	Аналогично суммируя, получаем = 0,995

Проверка оптимизации (наличия удешевления рецептуры):

Цена улучшаемого мороженого, руб./кг	14,33522
Цена спроектированного мороженого, руб./кг	14,03134909

Путем умножения каждого из столбцов матрицы свойств (жир, СОМО, сахар и вода в сырье) на соответствующий элемент вектора состава (рецептура) и суммирования элементов и строк получаем итоговые свойства продукта (мороженого, полученного по спроектированной программой рецептуре):

(жир в молоке) × (кол-во молока по рецептуре)	(СОМО в молоке) × (кол-во молока по рецептуре)	(сахар в молоке) × (кол-во молока по рецептуре)	(вода в молоке) × (кол-во молока по рецептуре)	Прим. Сумма слева (жир + СОМО + сахар + вода) = 1 (100 %)
(жир в масле) × (кол-во масла по рецептуре)	(СОМО в масле) × (кол-во масла по рецептуре)	(сахар в масле) × (кол-во масла по рецептуре)	(вода в масле) × (кол-во масла по рецептуре)	Прим. аналогично
(жир в сухом молоке) × (кол-во сухого молока по рецептуре)	(СОМО в сухом молоке) × (кол-во сухого молока по рецептуре)	(сахар в сухом молоке) × (кол-во сухого молока по рецептуре)	(вода в сухом молоке) × (кол-во сухого молока по рецептуре)	Прим. аналогично
(жир в сахаре) × (кол-во сахара по рецептуре)	(СОМО в сахаре) × (кол-во сахара по рецептуре)	(сахар в сахаре) × (кол-во сахара по рецептуре)	(вода в сахаре) × (кол-во сахара по рецептуре)	Прим. аналогично

сахара по рецептуре)			(кол-во сахара по рецептуре)	
(жир в сыворотке) × (кол-во сыворотки по рецептуре)	(СОМО в сыворотке) × (кол-во сыворотки по рецептуре)	(сахар в сыворотке) × (кол-во сыворотки по рецептуре)	(вода в сыворотке) × (кол-во сыворотки по рецептуре)	Прим. аналогично
Итого жира в мороженом = сумма ячеек сверху = 0,12	Итого СОМО в мороженом = сумма ячеек сверху = 0,10	Итого сахара в мороженом = сумма ячеек сверху = 0,16	Итого воды в мороженом = сумма ячеек сверху = 0,61	Прим. аналогично Проверка ...= 0,995

Или языком программы:

```
rowSums (prop1 * rep (compo, each = 4))
```

```
[1] 0.1201906 0.1002700 0.1600000 0.6145394
```

Проверка показывает полную сходимость основного химического состава по исходной и конечной (рассчитанной программой) рецептурам:

Сырье, кг	Исходная рецептура (на 100 кг смеси)	Конечная рецептура (на 100 кг смеси)	Жир, %	СОМО, %	Сахар, %	Вода, %
Молоко	35	12,3010714286	4	8,15	0	87,9
Масло крестьянское	14,5	15,6447779310	72,5	2,5	0	25
Сухое обезжиренное молоко	5,2	5,6749417308	0	95	0	5
Сахар	16	16,0000000000	0	0	100	0
Молочная сыворотка	28,8	49,8792083333	0,37	6,5	0	93,1
Мороженое по исходной рецептуре			12,0794573	10,1	16,08	61,8
Мороженое по конечной рецептуре			12,0794573	10,1	16,08	61,8

Таким образом, сохранив свойства конечного продукта (содержание жира, сахара, воды и СОМО в мороженом осталось неизменным), удалось снизить себестоимость продукта (с 14 335 до 14 031 руб. за тонну) путем изменения соотношения сырьевых компонентов в рецептуре без изменения их номенклатуры.

ГЛАВА 3

ПРИКЛАДНЫЕ ПРИМЕРЫ (КЕЙСЫ) ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Метод case-study, или метод конкретных ситуаций (от английского case — случай, ситуация), впервые использован в Гарварде (США) и зарекомендовал себя во всем мире. Это метод, основанный на приобретении опыта путем изучения «дорожных карт» (хода решения) конкретных задач — ситуаций (решение кейсов).

В главе рассмотрен ряд таких кейсов, базирующихся на применении информационных технологий при разработке новых и совершенствовании известных пищевых продуктов. Кейсы даны разной степени детальности — от максимально подробных к обобщенным ситуациям. Основой кейсов является анализ собственного многолетнего опыта авторов в решении подобных задач, дорожные карты также авторские.

Изучение таких кейсов позволит использовать их в качестве научно-методической помощи при разработке пищевых продуктов как молодыми исследователями (бакалавры, магистры, аспиранты по направлениям ФГОС ВО 190000 Промышленная экология и биотехнологии), так и опытными учеными и производственниками.

Ключевые слова: *метод case-study, решение кейсов, PTC MathCAD, MS Excel, TableCurve, цифровые технологии, информационные технологии, разработка пищевых продуктов, совершенствование пищевых продуктов, рецептуры, технологии.*

Приведенный в главе экспериментальный и статистический материал предназначен для создания банка кейсов (имитационных моделей), позволяющих анализировать и прогнозировать пути применения информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов.

Решение задач, возникающих при разработке и совершенствовании пищевых продуктов, — это всегда творчество, а иногда и искусство, в то время как используемое программное обеспечение — всего лишь инструмент.

По убеждению авторов, высокоэффективной стратегией по соотношению результат/время являются использование готовых инструментов, которые нам предлагают современные цифровые информационные технологии, и адаптация их к своим ситуациям после изучения типовых кейсов.

3.1. Кейс «Сплайновая интерполяция экспериментальных данных и прогнозирование содержания каротина с помощью PTC MathCAD»

Рассмотрим *ситуацию*, когда при проращивании на пищевые цели семян пшеницы происходят биотрансформация запасных питательных веществ зерновки и синтез новых соединений, в частности витаминов. Установлено, что в начальный период проращивания содержание каротина возрастает, затем происходит относительное уменьшение его содержания в связи с активным ростом зеленой биомассы. Измерения проводились ежедневно. Таким образом, у исследователя имеются значения функции, измеренные в нескольких точках, необходимо найти значения функции в промежуточных точках. Такая задача часто возникает на практике и называется задачей интерполяции (от лат. *interpolis* — разглаженный, преобразованный). В вычислительной математике интерполяция — это способ нахождения по дискретному набору известных значений величины ее промежуточных значений.

В нашем случае необходимо построить график динамики содержания каротина в биомассе проростков и сделать прогноз содержания провитамина А при дальнейшем проращивании.

Обычно исследователи для подобных целей используют MS Excel, в частности построение линии тренда по экспериментальным данным.

Существует ли в природе такая функция, которая соединяет все заданные точки для любого набора чисел?

Да, такая функция существует. Для любого набора координат можно задать сколько угодно много функций, которые через эти точки будут проходить.

Для того чтобы задать интерполяционную кривую, однозначно в простейшем случае можно использовать полином. Для однозначности полинома нужно, чтобы степень полинома была на единицу меньше, чем количество координат точки. Через пять точек однозначным образом

можно провести полином 4-й степени, через три точки — параболу, через две точки — прямую.

В случае интерполяции полиномом кривая может быть описана формулой

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0. \quad (3.1)$$

Кроме интерполяции полиномом, существуют и другие способы интерполирования, в частности интерполяция сплайнами. MathCAD является удобным инструментом для вычисления сплайнов и прогнозирования.

Основоположник теории интерполяции сплайнами, возникшей в 1940-е гг. и получившей развитие в 1950–1970-е гг., — американский математик И. Шонберг.

Главное отличие сплайновой интерполяции от интерполяции полиномом в том, что полином один, в то время как сплайн (от англ. *spline* — гибкое лекало, используемое для черчения кривых линий) состоит из нескольких алгебраических многочленов (полиномов). Количество сплайнов соответствует количеству интервалов, внутри которых проводится интерполяция. При сплайновой интерполяции желательно, чтобы каждый такой полином имел степень не выше 9, в том числе на некоторых интервалах кривая может являться параболой (полином 2-й степени) или линейной функцией (полином 1-й степени). Интерполяция многочленом выше десятой степени нежелательна, поскольку при вычислении такого полинома могут накапливаться ошибки округления и сам интерполяционный полином может плохо приближать исходную функцию.

Таким образом, в результате сплайновой интерполяции точки соединяются кривой $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$, где каждый S_i является полиномом 3-й степени, а именно:

$$S_i(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (3.2)$$

Степенью сплайна называется максимальная из степеней полиномов $S_i(x)$.

Базисная форма сплайна $S(x)$ описывается следующей формулой:

$$S(x) = \sum_{j=1}^r a_j B_j(x), \quad (3.3)$$

где $B_j(x)$ — локальные базисные сплайн-функции;

a_j — коэффициенты, задающие вес базисных сплайн-функций при формировании сплайна.

Рассмотрим возможности системы компьютерной алгебры PTC MathCAD Professional-15.0 для решения этих задач.

Дорожная карта решения

1. Ввод исходных данных в матрицу в MathCAD (рис. 3.1).

Mathcad - [график по экспериментальным данным (сплайновая интерполяция)]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Мой веб-узел Go

data := $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 3 \\ 5 & 2 \\ 6 & 1 \end{pmatrix}$ Матрица с экспериментальными данными о синтезе каротина в биомассе зерне при проращивании

X := data⁽⁰⁾ иксы - в нулевом столбике матрицы

Y := data⁽¹⁾ соответствующие игреки - в первом столбике матрицы

если строить график сейчас, т.е. по имеющимся точкам, то они будут просто соединены прямыми линиями, поэтому нужно провести сплайновую интерполяцию

S := cspline(X, Y) первый шаг для построения графика - расчет вектора как кубического полинома (cspline)

f(x) := interp(S, X, Y, x) второй шаг для построения графика - интерполяция y(x) для каждой точки x

f(2) = 3 f(4) = 3 проверка - см. координаты на графике: для x=2 y=3

j := 0..100 график будет построен по расчету для ста точек

x_j := min(X) + j * $\frac{\max(X) - \min(X)}{100}$ шаг иксов при построении графика

прогноз (экстраполяция)

p := predict(f(x), 4, 100) i := 1..5

Рис. 3.1. Пошаговое решение задачи с помощью PTC MathCAD Professional-15.0

2. Выбор способа расчета вектора. На первом шаге для построения графика расчет вектора как кубического полинома можно задать командой MathCAD «*cspline*», как параболы — «*pspline*» или как прямой — «*lspline*».

3. Проверка правильности построенного графика.

4. Задание параметров прогноза.

Пошагово процесс расчетов и необходимые команды MathCAD показаны на рис. 3.1, результат прогнозирования — на рис. 3.2.

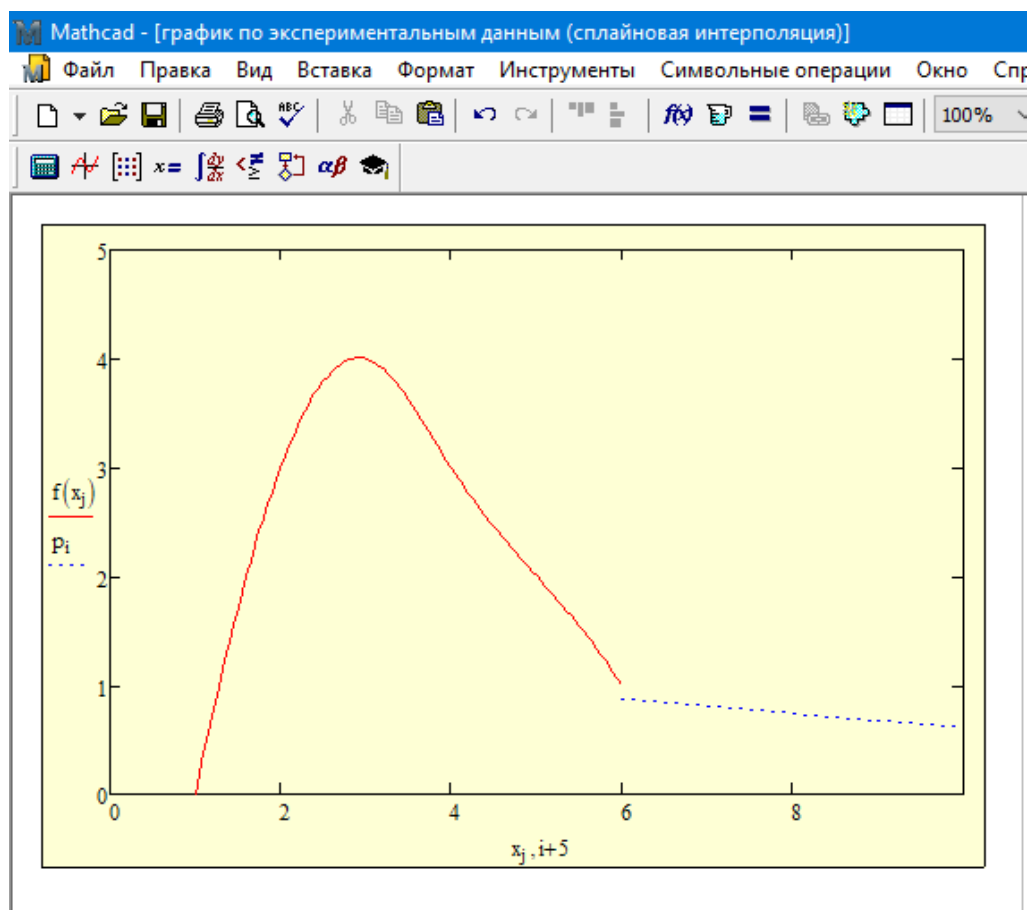


Рис. 3.2. Результат сплайновой интерполяции данных (красная линия) и прогноза (синяя линия) в PTC MathCAD Professional-15.0

В дальнейшем такой файл MathCAD можно использовать как шаблон для расчета других матриц с данными с незначительной корректировкой формул при необходимости (например, для уточнения глубины прогнозирования).

3.2. Кейс «Построение математической модели технологического процесса и оценка ее адекватности с помощью PTC MathCAD»

Полезно знать, что *корреляция* — зависимость, не имеющая явно выраженной закономерности из-за невозможности точно и полностью учесть влияния множества одновременно меняющихся факторов. *Регрессия* — зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или от нескольких величин [162].

Математические модели нужны для того, чтобы:

- 1) большой массив экспериментальных данных представить в виде сжатой информации — математической формулы, уравнения;
- 2) осуществлять прогнозирование происходящего процесса, находить значение зависимой величины внутри экспериментального поля (*интерполирование*) и вне экспериментального поля (*экстраполирование*);
- 3) определить динамику изменения зависимой величины — скорость (первая производная) и ускорение (вторая производная).

Какие требования предъявляются к математическим моделям? Модель в первую очередь должна *адекватно* описывать эмпирические значения, т. е. значения, полученные по уравнению модели, должны быть близки к значениям экспериментальных данных. Модель должна быть компактной, т. е. относительно короткой в записи и удобной для расчета.

Рассмотрим *ситуацию*, когда при создании молочно-зернового продукта был спланирован и поставлен полный трехфакторный эксперимент (ПФЭ). Необходимо получить математическую модель процесса сквашивания и оценить адекватность полученной модели.

Рассмотрим применение системы компьютерной алгебры PTC MathCAD Professional-15.0 (США) для получения математического описания изменения pH молочно-зерновой смеси.

Дорожная карта решения

1. Ввод исходных данных.

Значения активной кислотности обозначим через Y (ед. pH).

На изменение активной кислотности оказывают влияние три исследуемых фактора:

- 1) доза зернового компонента в смеси X_1 (%);
- 2) продолжительность сквашивания X_2 (ч);
- 3) температура сквашивания X_3 (°C).

Исходные данные, полученные в ходе серии экспериментов, приведены в табл. 3.1, 3.2. В опыте количество вносимой закваски составляло всегда одинаковую величину — 8 %.

При полном факторном эксперименте в таблицу ПФЭ записывают только *минимальные* и только *максимальные* значения. В кодированных координатах минимальное значение обозначают -1 (соответствует минимальному), максимальное $+1$ (соответствует максимальному значению).

Таблица 3.1

Активная кислотность молочно-зерновой смеси при $t = 36^\circ\text{C}$

Доза зернового компонента в смеси, %	Длительность сквашивания, ч							
	0	1	2	3	4	5	16	20
0	5,90	5,87	5,83	5,80	5,61	5,55	4,32	4,12
0,5	5,85	5,82	5,76	5,71	5,57	5,48	4,23	3,98
1	5,85	5,82	5,75	5,70	5,54	5,42	4,15	3,90
1,5	5,80	5,77	5,73	5,69	5,50	5,31	4,05	3,85

Таблица 3.2

Активная кислотность молочно-зерновой смеси при $t = 28^\circ\text{C}$

Доза зернового компонента в смеси, %	Длительность сквашивания, ч							
	0	1	2	3	4	5	16	20
0	5,90	5,80	5,75	5,70	5,60	5,00	4,12	4,02
0,5	5,85	5,76	5,70	5,60	5,53	4,89	4,05	3,95
1	5,85	5,73	5,65	5,55	5,45	4,78	4,00	3,90
1,5	5,80	5,65	5,56	5,44	5,37	4,67	3,95	3,85

Условия проведения опытов, матрица планирования эксперимента и результаты экспериментов приведены в табл. 3.3, 3.4.

Основной уровень варьирования определяется расчетным путем.

Например, для дозы зернового компонента в смеси $\frac{\max + \min}{2} = \frac{1,5 + 0}{2} = 7,5$,

для температуры $\frac{\max + \min}{2} = \frac{36 + 28}{2} = 32$.

Интервал варьирования определяется расчетным путем. Например,

для дозы зернового компонента в смеси $\frac{\max - \min}{2} = \frac{1,5 - 0}{2} = 7,5$, для

температуры $\frac{\max - \min}{2} = \frac{36 - 28}{2} = 4$.

Таблица 3.3

Условия проведения полного трехфакторного эксперимента

Характеристика плана	Изменяемые факторы		
	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	7,5	10	32
Интервал варьирования	7,5	10	4
Верхний уровень	1,5	20	36
Нижний уровень	0	0	28

На основании табл. 3.3 формируем матрицу планирования эксперимента, записываем результаты ПФЭ (см. табл. 3.4), учитывая межфакторные взаимодействия.

Таблица 3.4

Матрица плана и результаты полного трехфакторного эксперимента

Номер опыта	Кодированные переменные							Функция отклика	
	X_1	X_2	X_3	X_{12}	X_{13}	X_{23}	X_{123}	$Y_{э*}$	$Y_{р*}$
1	–1	–1	–1	+1	+1	+1	–1	5,90	5,93
2	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	5,80	5,77
3	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	4,02	4,03
4	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	3,85	3,87
5	–1	–1	+1	–1	–1	–1	+1	5,90	5,95
6	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	5,8	5,79
7	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	4,12	4,05
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,85	3,89

Примечание. $Y_{э*}$ — экспериментальные значения (из табл. 3.1 и табл. 3.2); $Y_{р*}$ — расчетные значения рН (данные значения будут автоматически рассчитаны из полученной нами модели).

Как формируется вектор-столбец $Y_{э*}$?

Номер опыта 1. Значение 5,90 — смотрим табл. 3.2. Кодированные переменные X_1 , X_2 , X_3 принимают минимальные значения (–1), это значит, что следует смотреть — доза зернового компонента в смеси 0 %, длительность сквашивания 0 ч; температура сквашивания 28 °С. По табл. 3.2 выбираем рН = 5,90.

Номер опыта 2. Кодированная переменная X_1 принимает максимальное значение, т. е. доза зернового компонента в смеси 1,5 %; X_2 — минимальное значение, т. е. длительность сквашивания 0 ч; X_3 —

минимальное значение, т. е. температура сквашивания 28 °С. По табл. 3.2 выбираем

pH = 5,80 и т. д.

Таким образом, мы установили принцип формирования вектор-столбца значений pH, и далее можем использовать накопленный экспериментальный материал.

По правилам планирования эксперимента в матрице плана (см. табл. 3.4) должны быть приведены средние значения pH. Это значит, что повторностей должно быть минимум три, но лучше пять-шесть (существуют специальные формулы для определения оптимального числа повторностей). От количества повторностей зависит коэффициент Стьюдента, который понадобится в дальнейшем. Повторность необходима для расчета оценки дисперсии, по которой вычисляются коэффициенты уравнения регрессии (математической модели), а также для установления значимых и незначимых коэффициентов регрессии. В данном случае повторностей было шесть.

Далее есть два пути. Традиционно уравнение регрессии (математическую модель процесса) можно найти расчетным путем, используя книги, формулы, справочники, калькулятор. В данном случае мы воспользуемся современным инструментом — системой компьютерной алгебры PTC MathCAD Professional-15.0 (США). Внесем в программу все необходимые данные и получим уравнение регрессии, в кодированных переменных (рис. 3.3):

$$Y^P = 4,91 - 0,08 \cdot X_1 - 0,95 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3. \quad (3.4)$$

После получения модели (уравнения многофакторной регрессионной зависимости) проводится оценка ее *адекватности*.

Качество моделирования оценивают по конечному результату. Качество уравнения регрессии оценивают по его *прогнозирующей способности*. Уравнение хорошо прогнозирует экспериментальные данные, т. е. уравнение адекватно описывает его данные, если расхождения между расчетными и экспериментальными значениями находятся в допустимых пределах.

Таким образом, под адекватностью модели понимают степень близости значений, полученных из уравнения регрессии и экспериментальных данных. Для данной оценки используют специальные статистические критерии. В нашем случае был применен

критерий Фишера, при котором сравнивают значения расчетного критерия Фишера с критическим (табличным). Если расчетный критерий Фишера меньше критического, то делают вывод, что многофакторная модель адекватно описывает исследуемую область исследования. Таким образом мы доказали, что полученная нами модель адекватна (рис. 3.3).

Mathcad - [маткад - ПФЭ 3]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Мой веб-узел Go

ORIGIN := 1

Формирование матрицы полного трехфакторного эксперимента в кодированных переменных

$i := 1..8$ $N := 8$

$X :=$

-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
-1	1	1	1	-1	-1	1	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

$X =$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

Формирование векторов-столбцов

$X1 := X^{(1)}$ $X2 := X^{(2)}$ $X3 := X^{(3)}$ $X4 := X^{(4)}$ Вектор столбец средних значений экспериментальных данных Y

$X1 =$

	1
1	-1
2	1
3	-1
4	1
5	-1
6	1
7	-1
8	1

$X2 =$

	1
1	-1
2	-1
3	1
4	1
5	-1
6	-1
7	1
8	1

$X3 =$

	1
1	-1
2	-1
3	-1
4	-1
5	1
6	1
7	1
8	1

$X4 =$

	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1

$Y :=$

5.90
5.8
4.02
3.85
5.90
5.8
4.12
3.85

$X11,1 = -1$ $X12,1 = 1$ $X27,1 = 1$ $YA1,1 = 5.9$ $YA6,1 = 5.8$ $YA8,1 = 3.85$

$X12 := \begin{bmatrix} (X1 \cdot X2) \end{bmatrix}$ $X13 := \begin{bmatrix} (X1 \cdot X3) \end{bmatrix}$ $X23 := \begin{bmatrix} (X2 \cdot X3) \end{bmatrix}$ $X123 := \begin{bmatrix} (X1 \cdot X2 \cdot X3) \end{bmatrix}$

$X12 =$

	1
1	1
2	-1
3	-1
4	1
5	1
6	-1
7	-1
8	1

$X13 =$

	1
1	1
2	-1
3	1
4	-1
5	-1
6	1
7	-1
8	1

$X23 =$

	1
1	1
2	1
3	-1
4	-1
5	-1
6	-1
7	1
8	1

$X123 =$

	1
1	-1
2	1
3	1
4	-1
5	1
6	-1
7	-1
8	1

Рис. 3.3 (начало). Ход решения задачи с помощью PTC MathCAD Professional-15.0

Mathcad - [маткад - ПФЭ 3]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Мой веб-узел Go

Расчет коэффициентов уравнения регрессии :

а) коэффициент при свободном члене (b_0) уравнения регрессии и коэффициенты при влияющих факторах (b_1, b_2, b_3):

$$b_0 := \frac{(X_4 \cdot Y_A)}{8} \quad b_1 := \frac{(X_1 \cdot Y_A)}{8} \quad b_2 := \frac{(X_2 \cdot Y_A)}{8} \quad b_3 := \frac{(X_3 \cdot Y_A)}{8}$$

$$b_0 = 4.91 \quad b_1 = -0.08 \quad b_2 = -0.95 \quad b_3 = 0.01$$

б) коэффициенты при парных и тройном произведении факторов:

$$b_{12} := \frac{(X_{12} \cdot Y_A)}{8} \quad b_{13} := \frac{(X_{13} \cdot Y_A)}{8} \quad b_{23} := \frac{(X_{23} \cdot Y_A)}{8} \quad b_{123} := \frac{(X_{123} \cdot Y_A)}{8}$$

$$b_{12} = -0.03 \quad b_{13} = -0.01 \quad b_{23} = 0.01 \quad b_{123} = -0.013$$

Оценка дисперсии воспроизводимости S_{ya} найдена по результатам предварительного эксперимента и с нею связано число степеней свободы $\nu_{ya} = 5$ (шесть повторностей).

Расчет оценки дисперсии, с которой вычисляются коэффициенты регрессии:

$$S_{ya} := 0.15 \quad S_{b2} := \frac{S_{ya}}{8} \quad S_{b2} = 0.019 \quad S_b := \sqrt{S_{b2}} \quad S_b = 0.137$$

Проверим значимость коэффициентов регрессии. Табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0,9 и числе степеней свободы 5 равно t . Коэффициент значим, если выполняется условие - абсолютная величина коэффициента b должна быть больше произведения $|b| > S_b \cdot t$

$$t := 2.05 \quad S_b = 0.137 \quad S_b \cdot t = 0.281$$

В нашем случае незначимые коэффициенты $b_1, b_2, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123} < 0.281$
- данные коэффициенты можно исключить из общего уравнения регрессии:

Общее уравнение регрессии:

$$Y_p := b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_{12} + b_{13} \cdot X_{13} + b_{23} \cdot X_{23} + b_{123} \cdot X_{123}$$

Уравнение регрессии с учетом коэффициентов при X_1, X_2, X_3 :

$$Y_p := (4.91 - 0.08 \cdot X_1 - 0.95 \cdot X_2 + 0.01 \cdot X_3)$$

Проверим адекватность уравнения регрессии.

Найдем расчетные значения функции отклика для всех восьми опытов:

$$Y_p^T = \begin{array}{c|cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & 5.93 & 5.77 & 4.03 & 3.87 & 5.95 & 5.79 & 4.05 & 3.89 \end{array}$$

Сравним значения уравнения регрессии Y_p с экспериментальными значениями:

$$Y_A^T = \begin{array}{c|cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & 5.9 & 5.8 & 4.02 & 3.85 & 5.9 & 5.8 & 4.12 & 3.85 \end{array}$$

Можно заметить, что расхождение между расчетными и экспериментальными данными незначительны

Рис. 3.3 (продолжение). Ход решения задачи с помощью MathCAD Professional-15.0

Mathcad - [маткад - ПФЭ 3]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Мой веб-узел Go

Расчет оценки дисперсии адекватности:

N1 - число значимых коэффициентов регрессии:

$$S1 := (Y_A - Y_P)^2 \quad N1 := 4 \quad S1 := \frac{\sum S1}{8 - N1} \quad S1 = 2.85 \times 10^{-3}$$

Число степеней свободы, связанное с оценкой дисперсии адекватности, равно $f = 8 - 4 = 4$. Расчетное значение критерия Фишера:

$$S_{ya} = 0.15 \quad F_p := \frac{S1}{S_{ya}} \quad F_p = 0.019$$

Критическое (табличное) значение критерия Фишера в нашем примере равно 5.19 (справочник). Следовательно, найденное нами уравнение регрессии адекватно описывает экспериментальные данные. Следует заметить, что уравнение регрессии записано применительно к кодированным переменным, поэтому следует определить регрессионную зависимость с физическими переменными.

Перевод кодированных переменных в физические:

$$x1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.75 \\ 1.5 \end{pmatrix} \quad x2 := \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 20 \end{pmatrix} \quad x3 := \begin{pmatrix} 28 \\ 32 \\ 36 \end{pmatrix}$$

Связь кодированных переменных X(заглавные буквы) с физическими x (прописные) запишется следующими соотношениями:

Подставляем центр плана (макс+мин)/2: доза - 0,75; длительность - 10 часов; температура - 32С. В знаменателе интервал варьирования (макс - мин)/2.

$$X1 := \frac{x1 - 0.75}{0.75} \quad X2 := \frac{x2 - 10}{10} \quad X3 := \frac{x3 - 32}{4}$$

Подставляем значения кодированных переменных в уравнение регрессии с значимыми коэффициентами

$$Y_P := 4.91 - 0.08 \cdot X1 - 0.95 \cdot X2 + 0.01 \cdot X3$$

$$Y_h := 4.91 - 0.08 \cdot \left(\frac{x1 - 0.75}{0.75} \right) - 0.95 \cdot \left(\frac{x2 - 10}{10} \right) + 0.01 \cdot \left(\frac{x3 - 32}{4} \right)$$

Используем Mathcad для построения модели с физическими переменными:

Введем новые переменные: $a = x1 \quad b = x2 \quad c = x3$

$$0.08 \cdot \left(\frac{a - 0.75}{0.75} \right) \rightarrow 0.10666666666666667 \cdot a - 0.08$$

$$0.95 \cdot \left(\frac{b - 10}{10} \right) \rightarrow 0.095 \cdot b - 0.95$$

$$0.01 \cdot \left(\frac{c - 32}{4} \right) \rightarrow 0.0025 \cdot c - 0.08$$

Рис. 3.3 (продолжение). Ход решения задачи с помощью MathCAD Professional-15.0

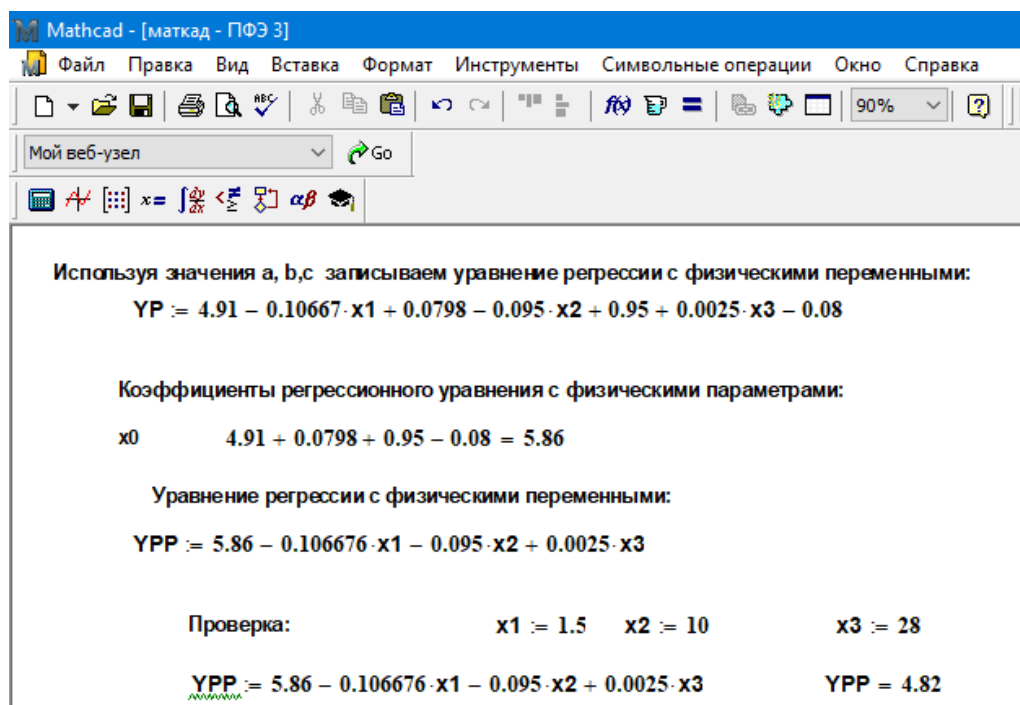


Рис. 3.3 (окончание). Ход решения задачи с помощью MathCAD Professional-15.0

Следующий шаг моделирования — это *перевод кодированных переменных в физические*.

Заметим, что уравнение регрессии (3.4) записано применительно к кодированным переменным, которые связаны с физическими величинами следующими соотношениями:

$$X_1 = \frac{x_1 - 0,75}{0,75}; \quad X_2 = \frac{x_2 - 10}{10}; \quad X_3 = \frac{x_3 - 32}{4}.$$

Подставляем эти выражения в уравнение регрессии (3.4):

$$Y^h = 4,91 - 0,08 \cdot \left(\frac{x_1 - 0,75}{0,75} \right) - 0,95 \cdot \left(\frac{x_2 - 10}{10} \right) + 0,01 \cdot \left(\frac{x_3 - 32}{4} \right). \quad (3.5)$$

Приводя подобные члены (последовательность преобразования см. на рис. 3.3), получим уравнение регрессии в физических переменных:

$$YPP = 5,86 - 0,1066 \cdot x_1 - 0,095 \cdot x_2 + 0,0025 \cdot x_3. \quad (3.6)$$

3.3. Кейс «Оценки точности прогноза математической модели процесса сквашивания с помощью MS Excel»

Существует несколько способов проверки адекватности модели (уравнения многофакторной регрессионной зависимости), помимо критерия Фишера, описанного в предыдущем кейсе. Например, для этих целей можно использовать корреляционное отношение и среднюю относительную ошибку прогнозирования.

Ситуация. Требуется оценить прогнозирующую способность (адекватность) модели, полученной в предыдущем кейсе, пользуясь современным инструментом — программой MS Excel (США).

Дорожная карта решения

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Э}} - Y_{\text{Р}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{Э}} - Y_{\text{Ср}})^2}}, \quad (3.7)$$

где $Y_{\text{Э}}$, $Y_{\text{Р}}$ и $Y_{\text{Ср}}$ – экспериментальное, расчетное и среднее значение величины Y ;

n — количество экспериментальных значений Y , используемых для проверки адекватности.

Средняя относительная ошибка прогнозирования (аппроксимации) (%) рассчитывается по формуле

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{\text{Э}} - Y_{\text{Р}}}{Y_{\text{Э}}} \right|, \quad (3.8)$$

а среднеквадратическая ошибка прогнозов равна:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\acute{O}\acute{Y} - \acute{O}\acute{D})^2}. \quad (3.9)$$

Вносим в MS Excel исходные данные (экспериментальные и рассчитанные по математической модели значения Y), добавляем

формулы (рис. 3.4, 3.5), и программа автоматически рассчитывает цифры, позволяющие оценить прогнозирующую способность модели.

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид				Критерий корреляции (для моего файла 3) [Режим совместимости] - Excel				
Что вы хотите сделать?								
Из Access Из Интернета Из текста Из других источников * Существующие подключения Создать запрос * Показать запросы Из таблицы Последние источники Скачать & преобразовать Обновить все * Подключения Подключения Свойства Изменить связи				Сортировка Фильтр Очистить Повторить Дополнительно Текст по столбцам Мгновенное заполнение * Удалить дубликаты Проверка данных * Работа с данными				
120								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	№	УЗ	УР	УЗ-УР	(УЗ-УР) ²	(УЗ-УР)/УЗ	УЗ-УСр	(УЗ-УСр) ²
2	1	5,9	5,93	=B2-C2	=D2^2	=ABS(D2/B2)	=B2-B13	=G2*G2
3	2	5,8	5,77	=B3-C3	=D3^2	=ABS(D3/B3)	=B3-B13	=G3*G3
4	3	4,02	4,03	=B4-C4	=D4^2	=ABS(D4/B4)	=B4-B13	=G4*G4
5	4	3,85	3,87	=B5-C5	=D5^2	=ABS(D5/B5)	=B5-B13	=G5*G5
6	5	5,9	5,95	=B6-C6	=D6^2	=ABS(D6/B6)	=B6-B13	=G6*G6
7	6	5,8	5,79	=B7-C7	=D7^2	=ABS(D7/B7)	=B7-B13	=G7*G7
8	7	4,12	4,05	=B8-C8	=D8^2	=ABS(D8/B8)	=B8-B13	=G8*G8
9	8	3,85	3,89	=B9-C9	=D9^2	=ABS(D9/B9)	=B9-B13	=G9*G9
10	Сумма	=СУММ(B2:B9)	=СУММ(C2:C9)		=СУММ(E2:E9)	=СУММ(F2:F9)		=СУММ(H2:H9)
11								
12	Средняя ошибка прогнозирования, %					=100*F10/8		
13	Ср =	=B10/8	Коефф корреляции			=КОРЕНЬ(1-E10/H10)		
14	Среднеквадратическая ошибка прогнозов					=КОРЕНЬ(E10/8)		
15								
16								

Рис. 3.4. Формулы решения задачи с помощью MS Excel (США)

критерий корреляции (для моего прогноза)

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?

fx Σ Вставить функцию Автосумма Последние Финансовые Логические Текстовые Дата и время Ссылки и массивы Математические Другие функции Диспетчер имен Присвоить имя Использовать в формуле Создать из выделенного Определенные имена

Библиотека функций

F12 $\times$ $\checkmark$ fx =100*F10/8

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	№	УЗ	УР	УЗ-УР	(УЗ-УР) ²	(УЗ-УР)/УЗ	УЗ-УСр	(УЗ-УСр) ²	
2	1	5,90	5,93	-0,03	0,0009	0,00508	0,995	0,990	
3	2	5,80	5,77	0,03	0,0009	0,00517	0,895	0,801	
4	3	4,02	4,03	-0,01	0,0001	0,00249	-0,885	0,783	
5	4	3,85	3,87	-0,02	0,0004	0,00519	-1,055	1,113	
6	5	5,90	5,95	-0,05	0,0025	0,00847	0,995	0,990	
7	6	5,80	5,79	0,01	1E-04	0,00172	0,895	0,801	
8	7	4,12	4,05	0,07	0,0049	0,01699	-0,785	0,616	
9	8	3,85	3,89	-0,04	0,0016	0,01039	-1,055	1,113	
10	Сумма	39,24	39,28		0,0114	0,05552		7,208	
11									
12		Средняя ошибка прогнозирования, %					0,69		
13	Ср =	4,905	Коефф корреляции			0,999			
14		Среднеквадратическая ошибка прогнозов					0,038		
15									

Рис. 3.5. Ход решения задачи с помощью MS Excel (США) с отображением влияющих ячеек

Для удобства анализа результаты расчета сведем в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Оценка адекватности регрессионной модели

Номер опыта	Функция отклика		Квадрат разности	Ошибка прогноза	Коэффициент корреляции
№	УЭ	УР	$(УЭ-УР)^2$	$(УЭ-УР)/УЭ$	$(УЭ-УСр)^2$
1	5,9	5,93	0,0009	0,00508	0,990
2	5,8	5,77	0,0009	0,00517	0,801
3	4,02	4,03	0,0001	0,00249	0,783
4	3,85	3,87	0,0004	0,00519	1,113
5	5,9	5,95	0,0025	0,00847	0,990
6	5,8	5,79	1E-04	0,00172	0,801
7	4,12	4,05	0,0049	0,01699	0,616
8	3,85	3,89	0,0016	0,01039	1,113
Сумма	39,24	39,28	0,0114	0,05552	7,208

Средняя ошибка прогнозирования E , %	0,69
Коэффициент корреляции	0,999
Среднее значение экспериментальных данных	4,095
Среднеквадратическая ошибка прогнозов S	0,038

Точность прогнозирования тем выше, чем меньше E или S соответственно. Совершенный прогноз достигается при $E = S = 0$. В нашем случае средняя ошибка прогнозирования составляет $E = 0,69\%$, что подчеркивает высокий уровень адекватности регрессионной модели.

После того как в MS Excel единожды внесены необходимые формулы, файлом можно пользоваться как шаблоном для оценки адекватности и других регрессионных моделей, меняя только значения УЭ и УР.

3.4. Кейс «Автоматизация с помощью PTC MathCAD дисперсионного анализа на примере молочно-зерновой смеси»

Дисперсионный анализ относится к области математической статистики и применяется для исследования влияния одной или нескольких качественных переменных (факторов) на одну зависимую количественную переменную (отклик). Этот метод, предложенный Р. Фишером, является

статистическим методом, предназначенным для выявления влияния ряда отдельных факторов на результаты экспериментов.

В основе дисперсионного анализа лежит предположение о том, что одни переменные могут рассматриваться как причины (факторы, независимые переменные), а другие — как следствия (зависимые переменные). Сущность дисперсионного анализа заключается в расчленении общей дисперсии изучаемого признака на отдельные компоненты, обусловленные влиянием конкретных факторов, и проверке гипотез о значимости влияния этих факторов на исследуемый признак. Сравнивая компоненты дисперсии друг с другом посредством F-критерия Фишера, можно определить, какая доля общей вариативности результативного признака обусловлена действием регулируемых факторов.

Ситуация. Рассмотрим возможность применения информационных технологий при разработке поликомпонентного молочного продукта, в основе технологии которого лежит смешивание молока с зерномучным ингредиентом. При разработке такого пищевого продукта необходимо оценить, какой фактор сильнее влияет на изменение активной кислотности молочно-зерновой смеси — массовая доля вносимого зернового ингредиента или продолжительность сквашивания. Оценку будем проводить с помощью двухфакторного дисперсионного анализа.

В результате дисперсионного анализа матриц экспериментальных данных мы получим коэффициент детерминации фактора *A* (массовая доля зернового ингредиента в молочно-зерновой смеси), коэффициент детерминации фактора *B* (продолжительность сквашивания) и коэффициент детерминации неучтенных факторов эксперимента. Коэффициент детерминации показывает, какая доля общей изменчивости величины (признака), в данном случае — изменения активной кислотности молочно-зерновой смеси, обусловлена изменением каждого из факторов.

Такой анализ можно проводить как классическим расчетным путем с помощью калькулятора, так и с применением современных информационных технологий.

Рассмотрим дорожную карту решения такой задачи с помощью системы компьютерной алгебры PTC MathCAD Professional-15.0 (США). Ход решения задачи приведен на рис. 3.6.

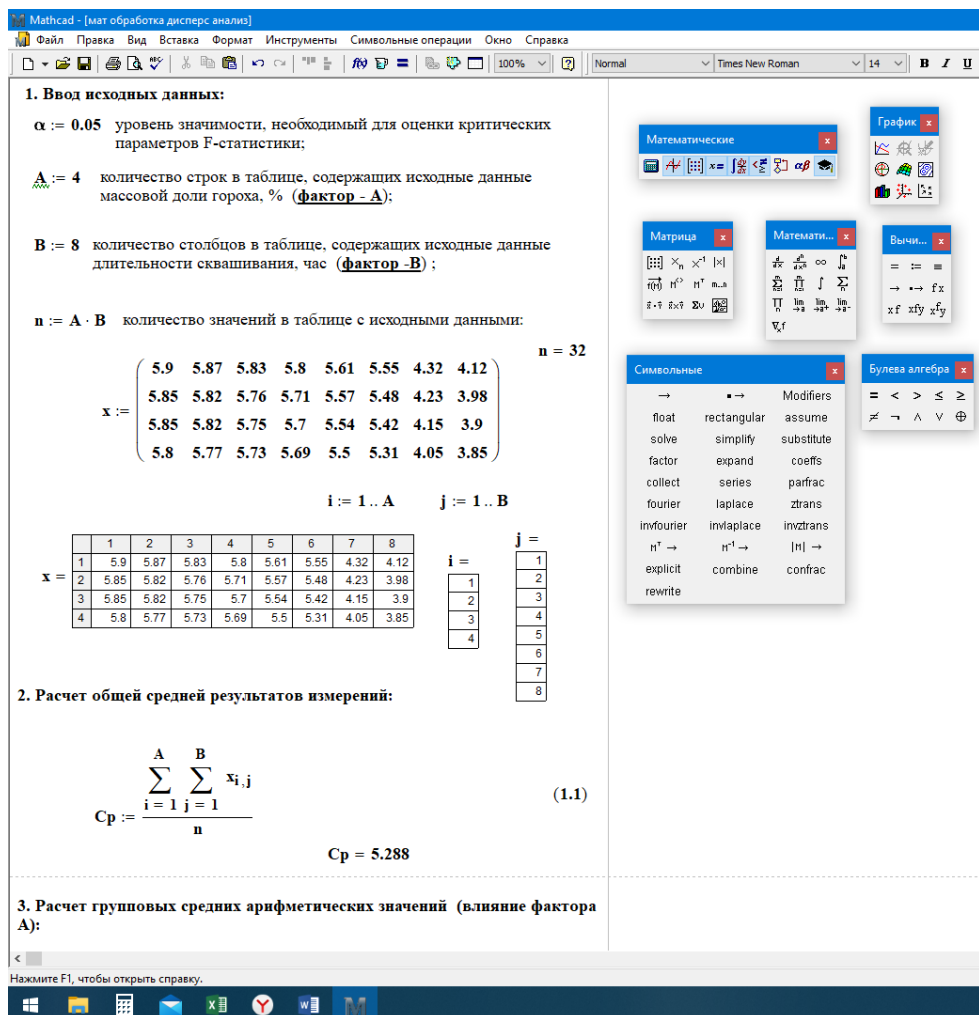


Рис. 3.6. Экран дисперсионного анализа молочно-зерновой смеси с помощью системы компьютерной алгебры PTC MathCAD Professional-15.0 (США)

Дорожная карта решения

1. Ввод исходных данных:

$\alpha := 0.05$ — уровень значимости, необходимый для оценки критических параметров F-статистики;

$A := 4$ — количество строк в матрице, содержащих исходные данные массовой доли зернового компонента, % (фактор A);

$B := 8$ — количество столбцов в матрице, содержащих исходные данные длительности сквашивания, час (фактор B);

$n := A \cdot B$ — количество значений в матрице с исходными данными;

$$n = 32$$

$$x := \begin{pmatrix} 5.9 & 5.87 & 5.83 & 5.8 & 5.61 & 5.55 & 4.32 & 4.12 \\ 5.85 & 5.82 & 5.76 & 5.71 & 5.57 & 5.48 & 4.23 & 3.98 \\ 5.85 & 5.82 & 5.75 & 5.7 & 5.54 & 5.42 & 4.15 & 3.9 \\ 5.8 & 5.77 & 5.73 & 5.69 & 5.5 & 5.31 & 4.05 & 3.85 \end{pmatrix}$$

$$i := 1..A \quad j := 1..B$$

2. Расчет общей средней результатов измерений (слева — формула в MathCAD; справа — результат автоматического расчета в MathCAD по этой формуле):

$$Cp := \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B x_{i,j}}{n} \quad Cp = 5.288 \quad (3.10)$$

3. Расчет групповых средних арифметических значений (влияние фактора A):

$$CpA_i := \frac{\sum_{j=1}^B x_{i,j}}{B} \quad (3.11)$$

$$CpA^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 5.375 & 5.3 & 5.266 & 5.213 \\ \hline \end{array}$$

4. Расчет групповых средних арифметических значений длительности сквашивания (влияние фактора B):

$$CpB_j := \frac{\sum_{i=1}^A x_{i,j}}{A} \quad (3.12)$$

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.555	5.44	4.188	3.963

5. Расчет средней изменчивости активной кислотности, вызванной влиянием фактора A :

$$\sigma A := \frac{B \cdot \sum_{i=1}^A (CpA_i - Cp)^2}{A - 1} \quad \sigma A = 0.037 \quad (3.13)$$

6. Расчет средней изменчивости активной кислотности, вызванного влиянием фактора B :

$$\sigma B := \frac{A \cdot \sum_{j=1}^B (CpB_j - Cp)^2}{B - 1} \quad \sigma B = 2.333 \quad (3.14)$$

7. Расчет общей изменчивости активной кислотности, вызванной влиянием случайных (неучтенных) факторов:

$$\sigma O := \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B (x_{i,j} - CpA_i - CpB_j + Cp)^2}{(n - 1) - (A - 1) - (B - 1)} \quad \sigma O = 1.483 \times 10^{-3} \quad (3.15)$$

8. Расчет общей изменчивости коэффициента диффузии:

$$\sigma := \sigma A + \sigma B + \sigma O \quad \sigma = 2.371 \quad (3.16)$$

9. Расчет наблюдаемого экспериментального критерия Фишера (влияние фактора A):

$$FA := \frac{\sigma A}{\sigma O} \quad FA = 24.97 \quad (3.17)$$

10. Расчет наблюдаемого экспериментального критерия Фишера (влияние фактора B):

$$FB := \frac{\sigma B}{\sigma O} \qquad FB = 1.573 \times 10^3 \qquad (3.18)$$

11. Расчет критического критерия Фишера (влияние фактора A):

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072 \qquad (3.19)$$

12. Расчет критического критерия Фишера (влияние фактора B):

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488 \qquad (3.20)$$

13. Расчет коэффициента детерминации фактора A :

$$rA := \frac{\sigma A}{\sigma} \qquad rA = 0.016 \qquad (3.21)$$

14. Расчет коэффициента детерминации фактора B :

$$rB := \frac{\sigma B}{\sigma} \qquad rB = 0.984 \qquad (3.22)$$

15. Расчет несмещенной оценки (дисперсии) параметра:

$$\sigma^2 := \frac{\sigma O}{(A - 1) \cdot (B - 1)} \qquad \sigma^2 = 7.061 \times 10^{-5} \qquad (3.23)$$

16. Расчет коэффициента детерминации неучтенных факторов:

$$rC := \frac{\sigma O}{\sigma} \qquad rC = 6.254 \times 10^{-4} \qquad (3.24)$$

Коэффициент детерминации показывает, какая доля общей изменчивости величины (признака) — изменения активной кислотности молочно-зерновой смеси — обусловлена изменением фактора *A* (массовой доли зернового компонента). Так как коэффициент детерминации фактора *A* равен 0,016, то степень влияния данного фактора на изменчивость активной кислотности составляет 1,6 %. Степень влияния фактора *B* (продолжительность сквашивания) на активную кислотность составляет 98,4 %. Степень влияния неучтенных факторов составляет ничтожно малую величину. Таким образом, изменение активной кислотности обусловлено в основном продолжительностью сквашивания (приоритетный фактор) и в малой степени зависит от массовой доли зернового компонента в молочно-зерновой смеси.

Удобство использования современных информационных технологий, в частности PTC MathCAD, в том, что нет необходимости повторять все шаги дорожной карты для каждого вида молочно-зерновой смеси. Единожды подготовив файл в PTC MathCAD, как описано выше, его можно использовать как шаблон для дальнейшей однотипной статистической обработки экспериментальных данных.

При смене зернового ингредиента в смеси следует только поменять данные в начальной матрице, при необходимости меняя количество строк и столбцов (стереть эту матрицу и вставить новую с нужным количеством строк и столбцов), а также учитывать в исходных данных число строк и столбцов в матрице, меняя при необходимости эти цифры. Дальнейшие формулы менять нет необходимости, все остальные 15 показателей будут рассчитываться в автоматическом режиме в системе PTC MathCAD (Приложение «Двухфакторный дисперсионный анализ молочно-зерновых смесей»).

3.5. Кейс «Интерполяция числового ряда данных дискретного измерения содержания витамина С в блюде с помощью PTC MathCAD»

Рассмотрим *ситуацию*, когда исследователь с некоторой периодичностью (дискретно) измерял сохранность нутриента в процессе технологической обработки пищевого продукта, например, сохранность витамина С во время термической обработки блюда. У исследователя нет возможности измерять динамику содержания витамина С в блюде непрерывно, можно лишь узнавать значения этого параметра в отдельные моменты времени. Невозможность постоянного наблюдения за каким-либо параметром — часто встречающееся в практике ограничение.

В итоге мы имеем два числовых ряда (числа условны):

Время термообработки блюда, мин	0	10	?	20	30	40	50
Сохранность витамина С, %							
от исходной величины	100	80	?	60	40	20	5

Какие значения должны стоять на месте вопросов, скажем, для 17,5-минутной термообработки? Как их обосновать?

Иными словами, нужно установить закономерность распределения искомого параметра по нескольким известным его значениям.

Сформулируем задачу. Исходными данными является множество точек, задача — восстановление плавной кривой, проходящей через эти точки и непрерывно описывающей изменение параметра.

Дорожная карта решения пошагово представлена на рис. 3.7.

3.6. Кейс «Применение TableCurve 3D для построения математической модели процесса синерезиса и статистического анализа модели»

Программа TableCurve 3D позволяет строить модели (поверхности) по трехмерным массивам эмпирических данных с выдачей наиболее подходящего для этого массива аппроксимирующего полинома и большого перечня статистических параметров. При этом интерфейс и специфика работы в программе несколько проще для пользователя, не обладающего углубленными знаниями математики, по сравнению с такими программами, как MathCAD, MATHLAB, MAPLE и др.

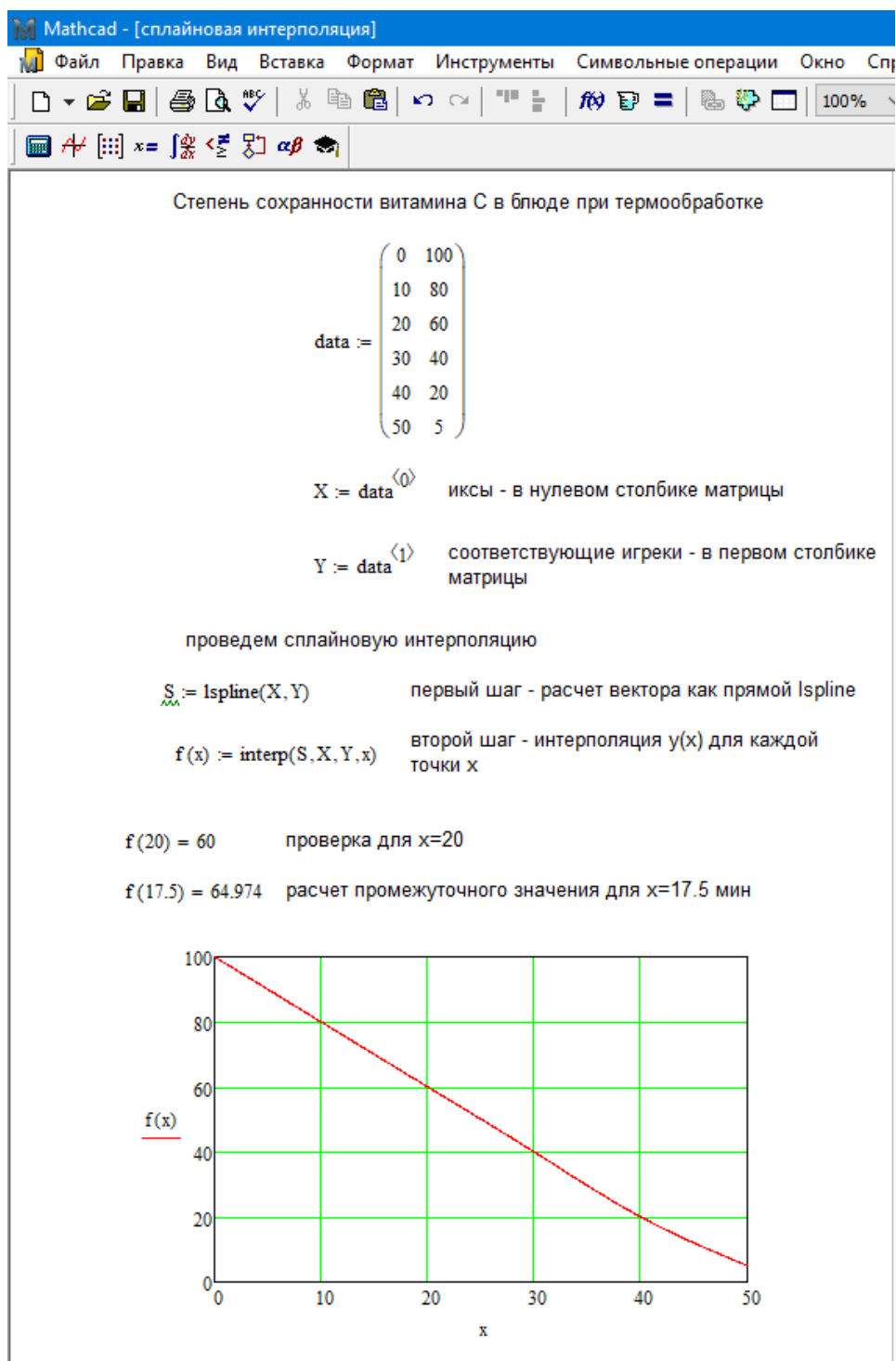


Рис. 3.7. Расчет промежуточного значения сохранности витамина С в блюде с помощью PTC MathCAD Professional-15.0

В арсенале TableCurve 3D находится более 16 тысяч различных функций, включая линейные уравнения, нелинейные экспоненциальные уравнения, степенные уравнения, полиномиальные функции, рациональные функции, логарифмические функции, экспоненциальные функции, нелинейные пиковые функции, нелинейные функции перехода, а также пользовательские функции.

Рассмотрим *ситуацию*, когда необходимо построить математическую модель, описывающую синерезис молочного сгустка в зависимости от количества внесенной закваски и температуры сквашивания.

Дорожная карта решения

1. Ввод исходных данных в TableCurve 3D осуществляется либо непосредственно в программе, либо через импорт файла с эмпирическими данными из MS Excel. Зачастую импорт данных из Excel оказывается более удобным на первых стадиях знакомства с работой программы.

Для ввода данных в TableCurve 3D нужно войти в меню «Edit», подменю «Editor» и вручную ввести в столбцах значения X , Y и Z . Столбец Weight (Значимость) можно не заполнять. Он служит для задания значимости данной точки для аппроксимирующего полинома, т. е. обязательности прохождения полинома через данную точку. При желании столбец Weight можно заполнить, сняв флажок с «AutoEntryW».

2. На этом шаге есть возможность отредактировать параметры расчета. Можно изменить заголовок таблицы данных, названия осей X , Y и Z в меню «Table», подменю «NewTitles». Также можно очистить массив данных от грубых ошибок (точек, погрешность которых слишком велика) в меню «Table», функция «ClearInactivePoints».

3. Выбор аппроксимирующего полинома. В меню «Process» следует выбрать опцию «Surface-FitAllEquations» (все уравнения). Для вывода рассчитанных параметров используется кнопка «GraphStart» в меню «Process». После выбора полиномов и проведения TableCurve расчета появляется окно «ReviewSurface-Fit» с моделью процесса синерезиса (поверхностью).

Результат работы программы для нашего случая — поверхность — показан на рис. 3.8. Синерезис молочного сгустка (z , %) в зависимости от количества внесенной закваски (x) и температуры сквашивания (y) описывается следующей неявной регрессионной зависимостью:

$$\ln z = a + (b/x)^{1.5} + cy + (d/y)^{1.5}. \quad (3.25)$$

Преобразуя исходное выражение, получаем математическую модель следующего вида:

$$z = \exp\left(a + (b/x)^{1.5} + cy + (d/y)^{1.5}\right), \quad (3.26)$$

где $a = 4,27$; $b = -122,16$; $c = 0,03$; $d = -0,07$.

Rank 188 Eqn 151242362 $\ln z = a + b/x^{(1.5)} + cy + d/y^{(1.5)}$
 $r^2 = 0.96512609$ DF Adj $r^2 = 0.96047623$ FitStdErr = 0.91233853 Fstat = 285.97219
 $a = 4.2715233$ $b = -122.15813$
 $c = 0.027468847$ $d = -0.065074233$

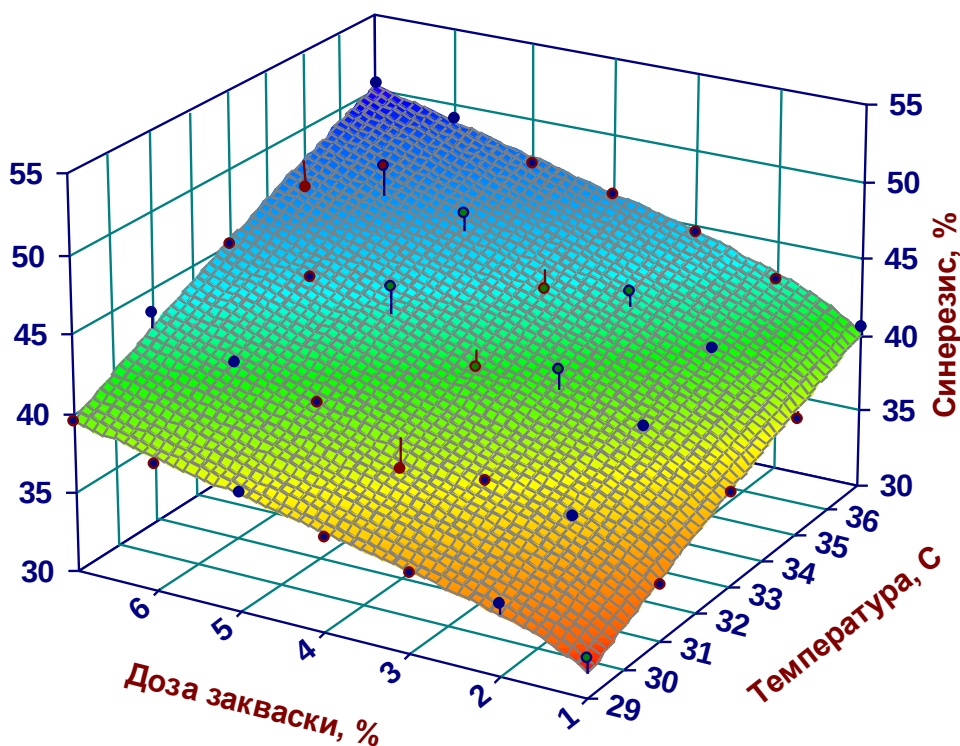


Рис. 3.8. Математическая модель синерезиса молочно-зерновой смеси, полученная с помощью TableCurve3D (США)

4. Расчет статистических величин для выбранных полиномов. Для просмотра статистических параметров модели (аппроксимирующего полинома) выбираем опцию «Numeric» в окне «ReviewSurface-Fit».

Рассчитанные параметры модели для нашего случая показаны на рис. 3.8 (вверху).

Здесь *Rank* — номер уравнения в списке — 188, т. е. мы среди предлагаемых TableCurve3D более чем двухста моделей выбрали модель под номером 188.

Eqn — код модели (номер уравнения в базе данных программы) — 151242362.

Дальше приводится уравнение математической модели с коэффициентами регрессии, в нашем случае уравнение

$$\ln z = a + (b / x)^{1.5} + cy + d / y^{1.5},$$

где *a*, *b*, *c*, *d* — используемые в уравнении переменные.

Переходим на вторую строчку, где приводится статистическая обработка модели.

r^2 — коэффициент множественной детерминации уравнения — 0,96512609. Что такое коэффициент детерминации? Найденная величина означает, что на основе полученной функции регрессии 96,512609 % (округлим до 96,5%) величина общей дисперсии синерезиса молочного сгустка объясняется влиянием количества внесенной закваски и температуры сквашивания. Это свидетельствует о том, что данная математическая модель (уравнение регрессии, аппроксимирующий полином) достаточно хорошо (адекватно) соответствует экспериментальным данным. Лишь 3,5 % общей дисперсии приходится на влияние прочих, не учтенных в модели факторов переменных.

Корень квадратный из величины коэффициента детерминации есть коэффициент корреляции:

$$R = \sqrt{r^2} = \sqrt{0,96512609} = 0,98241. \quad (3.27)$$

Значение коэффициента корреляции, близкое к единице, характеризует высокую степень адекватности математической модели эмпирическим данным.

Величины DF , $Adj\ r^2$, $FitStdErr$, $Fstat$ характеризуют статистическую погрешность модели.

DF , $Adj\ r^2$ — уровень доверительной вероятности — 0,96047623.

$FitStdErr$ — значение стандартной ошибки — 0,91233853.

$Fstat$ — значение критерия Фишера — 285,97219.

Если какой-нибудь параметр, например критерий Фишера, не устраивает исследователя, то выбирают следующий аппроксимирующий полином из арсенала TableCurve3D и оценивают его параметры.

Если переходить на более полное описание математических моделей, то TableCurve3D позволяет осуществить построчную статистическую погрешность.

На экран выводится информация (табл. 3.6) с численными значениями X и Y , эмпирическими и рассчитанными по математической модели значениями Z , величинами отклонений экспериментальных и расчетных значений Z в натуральном и процентном выражении и доверительными пределами для Z в каждой точке. Анализируется погрешность определения отклика (для выбранного аппроксимирующего уравнения) для минимального, среднего и максимального значений факторов в зависимости от количества знаков в коэффициентах. Для линейных моделей показан эффект влияния на ошибку прогноза обнуления каждого из параметров модели.

3.7. Кейс «Автоматизация расчета погрешности измерения при оценке содержания белка в говядине с помощью PTC MathCAD»

Рассмотрим следующую *ситуацию*. В производственной лаборатории был проведен анализ содержания белка в говядине. Измерения были сделаны в пяти повторностях. Необходимо вычислить среднеарифметическое значение содержания белка и абсолютную погрешность измерения.

Дорожная карта решения пошагово представлена на рис. 3.9. Таким образом, содержание белка в говядине составило $(19,35 \pm 1,12)$ г. Дополнительно сделан расчет относительной ПОГРЕШНОСТИ и коэффициента вариации.

Таблица 3.6

Статистический анализ модели синерезиса при изменении температуры сквашивания и количества закваски

XYZ	*	X Value	Y Value	Z Value	Z Predict	Residual	Residual %	95,00%	Confidence Lim	95,00%	Prediction Lim	Weights
1	37	7	50,5	50,275438	0,2245619	0,4446769	50,258669	50,292208	48,414636	52,13624	1	
2	37	6	49	48,868535	0,1314646	0,2682952	48,854994	48,882077	47,007759	50,729311	1	
3	37	5	47	47,478274	-0,478274	-1,017604	47,465962	47,490586	45,617507	49,339041	1	
4	37	4	46	46,085092	-0,085092	-0,184982	46,071885	46,098299	44,224318	47,945865	1	
5	37	3	44,5	44,640048	-0,140048	-0,314715	44,625007	44,65509	42,779261	46,500836	1	
6	37	2	42,5	42,977593	-0,477593	-1,123747	42,961759	42,993427	41,116799	44,838387	1	
7	37	1	40,5	40,090645	0,4093551	1,0107533	40,066226	40,115064	38,229758	41,951532	1	
8	35	7	46	47,958433	-1,958433	-4,257463	47,943515	47,973351	46,097647	49,81922	1	
9	35	6	48,5	46,616369	1,8836308	3,8837747	46,605199	46,627539	44,755609	48,477129	1	
10	35	5	46,5	45,29018	1,2098202	2,6017638	45,280535	45,299825	43,429428	47,150932	1	
11	35	4	42,5	43,961204	-1,461204	-3,438127	43,950439	43,971969	42,100446	45,821962	1	
12	35	3	43,5	42,582757	0,9172429	2,1086044	42,569808	42,595706	40,721985	44,443529	1	
13	35	2	41	40,996918	0,0030822	0,0075176	40,983063	41,010773	39,136139	42,857696	1	
14	35	1	37,5	38,243019	-0,743019	-1,981383	38,219855	38,266182	36,382148	40,103889	1	
15	33	7	45	45,417506	-0,417506	-0,927791	45,403294	45,431719	43,556725	47,278287	1	
16	33	6	44	44,146547	-0,146547	-0,333062	44,136335	44,156759	42,285792	46,007302	1	
17	33	5	44,5	42,890622	1,6093782	3,6165803	42,882102	42,899142	41,029876	44,751368	1	
18	33	4	40,5	41,632058	-1,132058	-2,795204	41,622286	41,64183	39,771305	43,49281	1	
19	33	3	41,5	40,326643	1,1733567	2,8273655	40,314509	40,338778	38,465877	42,18741	1	
20	33	2	39	38,824825	0,1751753	0,4491674	38,811736	38,837913	36,964052	40,685597	1	
21	33	1	36	36,216832	-0,216832	-0,602312	36,194145	36,23952	34,355967	38,077697	1	
22	31	7	43,5	42,629294	0,8707062	2,0016234	42,613748	42,644839	40,768502	44,490085	1	
23	31	6	41,5	41,43636	0,06364	0,1533494	41,424359	41,448361	39,575595	43,297125	1	
24	31	5	40	40,257537	-0,257537	-0,643842	40,246935	40,268139	38,39678	42,118294	1	
25	31	4	37	39,076237	-2,076237	-5,61145	39,064603	39,08787	37,215474	40,937	1	
26	31	3	37,5	37,850963	-0,350963	-0,9359	37,837286	37,864639	35,990186	39,71174	1	
27	31	2	36,5	36,441342	0,0586582	0,1607075	36,42682	36,455863	34,580558	38,302125	1	
28	31	1	33,5	33,993456	-0,493456	-1,473002	33,969941	34,01697	32,13258	35,854331	1	
29	29	7	39,5	39,570266	-0,070266	-0,177888	39,550882	39,589649	37,709438	41,431093	1	
30	29	6	38	38,462935	-0,462935	-1,218251	38,446256	38,479614	36,602134	40,323737	1	
31	29	5	37,5	37,368703	0,131297	0,3501254	37,352998	37,384408	35,50791	39,229496	1	
32	29	4	36	36,272172	-0,272172	-0,756032	36,255752	36,288591	34,411372	38,132971	1	
33	29	3	35	35,134822	-0,134822	-0,385205	35,116898	35,152746	33,274009	36,995635	1	
34	29	2	34,5	33,826354	0,6736463	1,9525979	33,807785	33,844923	31,965534	35,687173	1	
35	29	1	32,5	31,554125	0,9458748	2,9103841	31,527947	31,580303	29,693214	33,415036	1	

Файл Плавка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

100%

Ввод массива:

$$X := \begin{pmatrix} 18.74 \\ 19.64 \\ 18.11 \\ 19.99 \\ 20.26 \end{pmatrix}$$

Выборка

$X_{\max} := \max(X)$

$X_{\min} := \min(X)$

$R := X_{\max} - X_{\min}$

Результаты расчета

$n := 5$

$X_{\max} = 20.26$

$X_{\min} = 18.11$

$R = 2.15$

Средняя арифметическая величина:

$\text{mean} := \text{mean}(X)$

$\text{mean} = 19.35$

Дисперсия выборки:

$s2 := \frac{n \cdot \text{var}(X)}{n - 1}$

$s2 = 0.808$

Среднее квадратичное отклонение:

$\sigma := \sqrt{s2}$

$\sigma = 0.899$

Медиана

$\text{median} := \text{median}(X)$

$\text{median} = 19.64$

Ввод критерия Стьюдента по статистическим таблицам:

при $P = 0,95$ и степени свободы $f = n - 1 = 5 - 1 = 4$

$C := 2.776$

Ошибка расчета среднего квадратического отклонения

$\sigma_1 := \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

$\sigma_1 = 0.4$

Расчет абсолютной погрешности

$\Delta X := C \cdot \sigma_1$

$\Delta X = 1.12$

Запись ответа: $\text{mean} (+/-) \Delta X = 19,35 (+/-) 1,12$

Расчет относительной погрешности, %

$E := \frac{\Delta X \cdot 100}{\text{mean}}$

$E = 5.77$

Расчет коэффициента вариации, %

$W := \frac{100 \sigma_1}{\text{mean}}$

$W = 2.08$

Рис. 3.9. Расчет среднего значения содержания белка в мясе и погрешности измерений с помощью PTC MathCAD Professional-15.0

После того как в MathCAD единожды внесены необходимые формулы, файлом можно пользоваться как шаблоном для расчета среднеарифметических значений и погрешностей измерений других эмпирических данных, меняя только данные в матричном массиве X , количестве повторностей n и критерий Стьюдента (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Коэффициент Стьюдента для различной доверительной вероятности P
и числа степеней свободы f

f	P							
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,998	0,999
1	3,0770	6,3130	12,7060	31,820	63,656	127,656	318,306	636,619
2	1,8850	2,9200	4,3020	6,964	9,924	14,089	22,327	31,599
3	1,6377	2,35340	3,182	4,540	5,840	7,458	10,214	12,924
4	1,5332	2,13180	2,776	3,746	4,604	5,597	7,173	8,610
5	1,4759	2,01500	2,570	3,649	4,0321	4,773	5,893	6,863
6	1,4390	1,943	2,4460	3,1420	3,7070	4,316	5,2070	5,958
7	1,4149	1,8946	2,3646	2,998	3,4995	4,2293	4,785	5,4079
8	1,3968	1,8596	2,3060	2,8965	3,3554	3,832	4,5008	5,0413
9	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	3,6897	4,2968	4,780
10	1,3720	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	3,5814	4,1437	4,5869
11	1,363	1,795	2,201	2,718	3,105	3,496	4,024	4,437
12	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0845	3,4284	3,929	4,178
13	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,1123	3,3725	3,852	4,220
14	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,976	3,3257	3,787	4,140
15	1,3406	1,7530	2,1314	2,6025	2,9467	3,2860	3,732	4,072
16	1,3360	1,7450	2,1190	2,5830	2,9200	3,2520	3,6860	4,0150
17	1,3334	1,7396	2,1098	2,5668	2,8982	3,2224	3,6458	3,965
18	1,3304	1,7341	2,1009	2,5514	2,8784	3,1966	3,6105	3,9216
19	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,1737	3,5794	3,8834
20	1,3253	1,7247	2,08600	2,5280	2,8453	3,1534	3,5518	3,8495
21	1,3230	1,7200	2,2,0790	2,5170	2,8310	3,1350	3,5270	3,8190
22	1,3212	1,7117	2,0739	2,5083	2,8188	3,1188	3,5050	3,7921
23	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,1040	3,4850	3,7676
24	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,0905	3,4668	3,7454
25	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,0782	3,4502	3,7251
26	1,315	1,705	2,059	2,478	2,778	3,0660	3,4360	3,7060
27	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,0565	3,4210	3,6896
28	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,0469	3,4082	3,6739
29	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,0360	3,3962	3,8494
30	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,0298	3,3852	3,6460

3.8. Кейс «Анализ "что-если" при оптимизации рецептуры мороженого с соком с помощью MS Excel»

Таблицы подстановки дают возможность быстрого получения вариантов результатов для одной или двух серий изменяющихся значений, влияющих на результат, а также позволяют на одном листе просмотреть и сравнить варианты этих результатов. Таким образом, применение таблиц данных избавляет нас от многократного копирования формул.

Таблицы подстановки данных Excel могут содержать одну или две подстановочных переменных, т. е. могут быть векторными или матричными соответственно. С помощью таблиц данных с двумя переменными можно, например, оценить влияние вида сырья и объема его внесения в рецептуру на содержание нутриента в конечном продукте.

В разных версиях MS Excel этот инструмент может называться по-разному: «Таблица подстановки» либо «Таблица данных». Это синонимы. «Таблица подстановки» («Таблица данных») представляет собой диапазон ячеек, в которых можно получить различные варианты вычислений по одной и той же формуле, но для различных входных данных.

Инструмент «Таблица подстановки (данных)» для Excel 2003 вызывается из меню «Данные». Инструмент «Таблица данных» для Excel 2007 производится на закладке «Данные» из меню «Анализ "что-если"» (рис. 3.10).

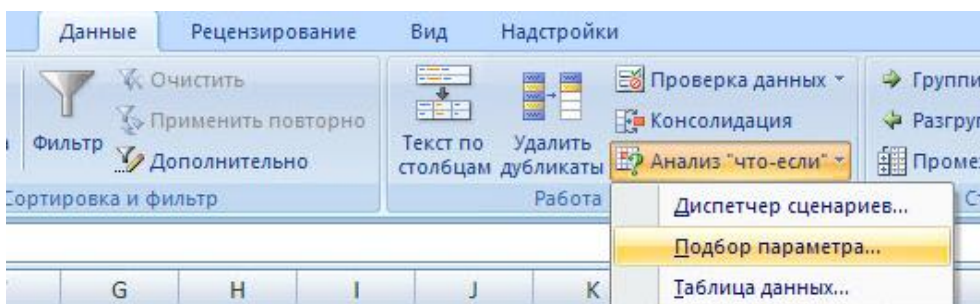


Рис. 3.10. Инструмент «Таблица данных» в Excel 2007

Итак, **таблицей подстановки данных** называется диапазон ячеек, показывающий, как изменение значений подстановки влияет на возвращаемый формулой результат. Для построения таблицы подстановки необходимы:

- одна или две *ячейки ввода*, в которых указаны исходные значения и на которые ссылается формула подстановки;

- один или два *списка значений*, которые будут подставляться в ячейки ввода (исходные данные могут располагаться (*а*) в столбце или в строке, либо (*б*) в столбце и строке);
- *формула подстановки*, которая обязательно должна ссылаться на ячейки ввода.

В процессе выполнения анализа «что-если» происходит последовательная подстановка ряда значений (из таблицы подстановки) в формулу, в результате чего на экране отображается ряд значений, среди которых можно попытаться найти *оптимальное значение*.

В результате подстановки списка значений в ячейку ввода получается массив значений. С помощью этих таблиц можно узнать, каким образом изменится результат вычисления формулы в случае изменения вводимых данных. Изменяя формулы подстановки или данные в списке значений, можно оценить, как это влияет на возвращаемый результат.

Помимо проектирования рецептур с помощью таблиц подстановки удобно формировать источник данных для построения графиков функций с одной или двумя переменными.

Ситуация. Проанализировать, сколько ягодного сока нужно внести в рецептуру мороженого, если содержание витамина С в 100 граммах сока — 200 мг. Задача состоит в том, чтобы получить содержание витамина С в мороженом на уровне 30 мг (0,03 г) в 100 г мороженого (около половины суточной нормы), но не больше 60 мг (суточная норма). Можно варьировать только количество сока в рецептуре, но не вид сока.

Дорожная карта решения

Для выполнения этой задачи создадим таблицу подстановки с одной переменной. В создаваемой таблице будут три поля — *количество ягодного сока в рецептуре* (изменяемый параметр), *содержание витамина С в соке* (фиксированное значение, равное 200 мг) и *содержание витамина С в мороженом* (вычисляется по формуле $= ((B3/1000)/100)*B2$).

Для определения таблицы подстановки с одной переменной выполните следующие действия.

1. В ячейку B2 введите любое начальное количество ягодного сока в рецептуре, например, равное 15 %.
2. В ячейке B3 укажите содержание витамина С в 100 г сока — 200 мг.

3. В ячейку B4 введите формулу для вычисления содержания витамина С в готовом продукте — мороженом $(=(B3/1000)/100)*B2)$.

4. В ячейку C5 введите формулу вычисления содержание витамина С в мороженом, приравняв ее к значению ячейки B4 ($=B4$).

5. В ячейки B6:B36 введите возможное количество ягодного сока в рецептуре (от 5 до 35 % с шагом 1 %).

6. Выделите диапазон ячеек B5:C36.

7. Теперь можно создать таблицу подстановки. Для этого перейдите на вкладку «Данные», затем щелкните на кнопке «Анализ "что-если"», затем выберите «Таблица данных».

8. На экране появится диалоговое окно «Таблицы данных». В поле «Подставлять значения по строкам в» укажите адрес целевой ячейки (в нашем случае \$B\$2).

9. После щелчка на кнопке ОК программа Excel выполнит вычисления в таблице подстановки, результат можно увидеть на рис. 3.11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I			
1	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ											
2	кол-во ягодного сока в рецептуре, г в 100 г мороженого	15				1000 мг = 1 г 0,2 мг витамина С в 100 г сока (0,2/100) в 1 грамме сока						
3	содержание витамина С, мг в 100 г сока	200	ТАБЛИЦА ПОДСТАНОВКИ									
4	содержание витамина С, мг в 100 г мороженого	0,03	содержание ештанина С, мг в 100 г мороженого		АНАЛИЗ							
5			0,030									
6		5	0,010 не подходит									
7		6	0,012 не подходит									
8		7	0,014 не подходит									
9		8	0,016 не подходит									
10		9	0,018 не подходит									
11		10	0,020 не подходит									
12		11	0,022 не подходит									
13		12	0,024 не подходит									
14		13	0,026 не подходит									
15		14	0,028 не подходит									
16		15	0,030 подходящий вариант рецептуры									
17		16	0,032 подходящий вариант рецептуры									
18		17	0,034 подходящий вариант рецептуры									
19		18	0,036 подходящий вариант рецептуры									
20		19	0,038 подходящий вариант рецептуры									
21		20	0,040 подходящий вариант рецептуры									
22		21	0,042 подходящий вариант рецептуры									
23		22	0,044 подходящий вариант рецептуры									
24		23	0,046 подходящий вариант рецептуры									
25		24	0,048 подходящий вариант рецептуры									
26		25	0,050 подходящий вариант рецептуры									
27		26	0,052 подходящий вариант рецептуры									
28		27	0,054 подходящий вариант рецептуры									
29		28	0,056 подходящий вариант рецептуры									
30		29	0,058 подходящий вариант рецептуры									
31		30	0,060 подходящий вариант рецептуры									
32		31	0,062 не подходит									
33		32	0,064 не подходит									
34		33	0,066 не подходит									
35		34	0,068 не подходит									
36		35	0,070 не подходит									
37												
38												

Рис. 3.11. Результат решения задачи с помощью инструмента «Таблица подстановки»

Теперь осталось проанализировать данные в таблице подстановки и найти количество ягодного сока в рецептуре, которое даст содержание витамина С в мороженом, близкое к ожидаемой величине. В рассматриваемом случае это диапазон от 15 до 30 %.

С помощью встроенных функций Excel, в частности функции «ЕСЛИ», этот анализ можно провести в автоматическом режиме, что полезно при больших массивах данных в таблице подстановки.

3.9. Кейс «Обработка данных (расчет расхода сырья, витаминизация сыра) с помощью инструмента «Таблица подстановки» MS Excel»

Ситуация. Необходимо выполнить расчет расхода сырья за различные периоды времени (табл. 3.8), пользуясь уже известным нам инструментом «Таблица подстановки».

Таблица 3.8

Исходные данные

Наименование сырья	Норма расхода на 1 день	Расход на неделю	Расход на месяц	Расход на квартал	Расход на полугодие	Расход на год
		7	30	90	180	365
А	0,5					
Б	0,75					
В	3,05					
Г	12,5					
Д	10,00					
Е						
Ж						
З						
И						

Дорожная карта решения

Для определения расхода сырья необходимо «Норму расхода на 1 день» умножить на период времени, а затем применить эту формулу для различных видов сырья и временных интервалов.

Перенесем таблицу данных на лист Excel.

Во главе угла таблицы данных между сериями исходных значений (ячейка В2) введем целевую функцию, задающую правило расчета: =В3*С2.

Также нам нужны ячейки подстановки, которые могут располагаться на любом месте листа рабочей книги Excel. В них нужно ввести данные о норме расхода по любому сырью (ячейка B14=B3) и любой период времени (ячейка C14=C2). Ячейки подстановки обязательно должны использовать формулы с адресными ссылками на исходные ячейки с данными.

В ячейку B2 вносим целевую функцию для расчета расхода сырья (=B14*C14). Целевая функция должна обязательно зависеть от значений, используемых как параметры таблицы подстановки.

Выделяем диапазон данных (B2:G11) исходной таблицы, где во главе угла находится ячейка с целевой функцией, а вниз и вправо идут значения изменяющихся исходных данных.

Запускаем инструмент «Таблица подстановки». В диалоговом окне указываем ссылки на ячейки подстановки: по столбцам изменяются значения временных периодов (C14), а по строкам — норма расхода (B14).

Нажимаем кнопку ОК и видим результат расчета (рис. 3.12).

	В8							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	наименование сырья	норма расхода на 1 день	расход на неделю	расход на месяц	расход на квартал	расход на полугодие	расход на год	
2		3500000	7	30	90	180	365	
3	молоко-сырье	500000	3500000	15000000	45000000	90000000	182500000	
4	сыворожка	250000	1750000	7500000	22500000	45000000	91250000	
5	сахар	30000	210000	900000	2700000	5400000	10950000	
6	СЦМ	50000	350000	1500000	4500000	9000000	18250000	
7	СОМО	12500	87500	375000	1125000	2250000	4562500	
8	казеин		0	0	0	0	0	
9	закваска		0	0	0	0	0	
10	хлористый кальций		0	0	0	0	0	
11	альбумин		0	0	0	0	0	
12								
13		ячейки подстановки						
14		500000	7					
15								

Рис. 3.12. Результат расчета расхода сырья

В случае необходимости достаточно ввести новые данные по интересующим видам сырья (казеин, закваска, хлористый кальций, альбумин), и таблица автоматически заполнится результатами.

Ситуация. Предположим, что в рецептуре сыра мы можем варьировать два показателя — *дозу витаминного премикса* (источник витаминов группы В) и *количество закваски*, продуцирующей витамины группы В. Таким образом, появляется еще одно поле — *количество закваски* (ячейка E2). Теперь таблица подстановки будет двумерной (т. е.

фактически является матрицей). В диапазоне ячеек B6:B11 вводится доза витаминного премикса (от 10 до 20 кг на тонну смеси с шагом 2 кг), а в диапазоне ячеек C5:H5 — количество закваски (от 25 до 50 кг с шагом 5 кг). Формула подсчета содержания витаминов в сыре установлена эмпирически и имеет следующий вид: $=ЕСЛИ(E2<40;(0,003*E2+B2)*B3;(0,005*E2+B2)*B3)$. Наша задача заключается в определении количества закваски и премикса, при которых достигается максимальная величина содержания витаминов в сыре.

Дорожная карта решения

Для создания таблицы подстановки с *двумя переменными* выполните следующие действия.

1. В ячейке B2 укажите начальную дозу витаминного премикса на тонну смеси — 10 кг.
2. В ячейке E2 укажите начальное количество закваски, равное 25 кг.
3. В ячейку B3 введите потери витаминов при термообработке сырного зерна (75).
4. В ячейку B5 введите указанную выше формулу подсчета ожидаемого содержания витаминов в сыре в зависимости от количества закваски и количества премикса ($B5=B4$).
5. В ячейки B6:B11 введите возможные дозы внесения премикса (от 10 до 20 кг с шагом 2 кг).
6. В ячейки C5:H5 введите возможное количество закваски (от 25 до 50 кг с шагом 5 кг).
7. Выделите диапазон ячеек B5:H11, в котором определена таблица подстановки.
8. Выберите инструмент «Таблица данных». В диалоговом окне укажите целевые ячейки в полях *Подставлять значения по столбцам* в (\$E\$2) и *Подставлять значения по строкам* в (\$B\$2).
9. Щелкните на кнопке ОК и получите результаты, показанные на рис. 3.13. Как и следовало ожидать, максимальное содержание витаминов в сыре будет при максимальном внесении и премикса, и продуцирующей витамины закваски.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	доза премикса, кг на тонну смеси	10		кол-во закваски, кг на тонну смеси	25				
3	потери витаминов группы В при нагревании сырного зерна	75							
4	содержание витаминов в сыре, мг в 1кг	755,625							
5		755,625	25	30	35	40	45	50	
6		10	755,625	756,75	757,875	765	766,875	768,75	
7		12	905,625	906,75	907,875	915	916,875	918,75	
8		14	1055,625	1056,75	1057,875	1065	1066,875	1068,75	
9		16	1205,625	1206,75	1207,875	1215	1216,875	1218,75	
10		18	1355,625	1356,75	1357,875	1365	1366,875	1368,75	
11		20	1505,625	1506,75	1507,875	1515	1516,875	1518,75	
12									

Рис. 3.13. Результат решения задачи для двух переменных

Ситуация. Необходимо выполнить расчет объема отгрузки продукта с завода по производству плавленых сыров за различные периоды времени (табл. 3.9).

Дорожная карта решения

Таблица 3.9

Исходные данные

Наименование продукта	Норма отгрузок на 1 день	Норма отгрузок на неделю	Норма отгрузок на месяц	Норма отгрузок на квартал	Норма отгрузок на полугодие	Норма отгрузок на год
		7	30	90	180	360
Колбасный	800					
Паста	1 200					
Ломтевой	500					
Сегмент	1 200					
Блочный	300					
Сырный соус	120					
Моцарелла	200					
Чеддер	140					
Сырный продукт	560					

Для определения объема отгрузки продукта необходимо *норму объема отгрузок на 1 день* умножить на период времени, а затем применить эту формулу для различных видов продукта и временных интервалов.

Перенесем таблицу данных на лист Excel. Нам нужны ячейки подстановки, которые могут располагаться на любом месте листа рабочей книги Excel (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Таблица исходных данных с ячейками подстановки

Наименование продукта	Норма отгрузок на 1 день	Норма отгрузок на неделю	Норма отгрузок на месяц	Норма отгрузок на квартал	Норма отгрузок на полугодие	Норма отгрузок на год
	5 600	7	30	90	180	360
Колбасный	800					
Паста	1 200					
Ломтевой	500					
Сегмент	1 200					
Блочный	300					
Сырный соус	120					
Моцарелла	200					
Чеддер	140					
Сырный продукт	560					
	Ячейки подстановки					
	800	7				

В ячейки нужно ввести данные о норме объема отгрузок по любому продукту (ячейка B14=B3) и любой период времени (ячейка C14=C2). Ячейки подстановки обязательно должны использовать формулы с адресными ссылками на исходные ячейки с данными.

В ячейку B2 вносим целевую функцию для расчета объема отгрузок продукта (=B14*C14). Целевая функция должна обязательно зависеть от значений, используемых как параметры таблицы подстановки.

Выделяем диапазон данных (B2:G11) исходной таблицы, где во главе угла находится ячейка с целевой функцией, а вниз и вправо идут значения изменяющихся исходных данных.

Запускаем инструмент «Таблица подстановки». В диалоговом окне указываем ссылки на ячейки подстановки: по столбцам изменяются значения временных периодов (C14), а по строкам — норма объема отгрузок (B14).

Нажимаем кнопку ОК и видим результат расчета (табл. 3.11).

В случае необходимости достаточно ввести новые данные по интересующим видам продукта, и таблица автоматически заполнится результатами.

Таблица 3.11

Результат расчета норм объема отгрузок продукта

Наименование продукта	Норма отгрузок на 1 день	Норма отгрузок на неделю	Норма отгрузок на месяц	Норма отгрузок на квартал	Норма отгрузок на полугодие	Норма отгрузок на год
	5 600	7	30	90	180	360
Колбасный	800	5 600	24 000	72 000	144 000	288 000
Паста	1 200	8 400	36 000	108 000	216 000	432 000
Ломтевой	500	3 500	15 000	45 000	90 000	180 000
Сегмент	1 200	8 400	36 000	108 000	216 000	432 000
Блочный	300	2 100	9 000	27 000	54 000	108 000
Сырный соус	120	840	3 600	10 800	21 600	43 200
Моцарелла	200	1 400	6 000	18 000	36 000	72 000
Чеддер	140	980	4 200	12 600	25 200	50 400
Сырный продукт	560	3 920	16 800	50 400	100 800	201 600
	Ячейки подстановки					
	800	7				

3.10. Кейс «Построение трехмерной модели содержания омега-3 жирной кислоты в продукте с помощью инструмента «Таблица подстановки» MS Excel»

Ситуация. Необходимо построить трехмерную модель изменения содержания омега-3 полиненасыщенной жирной кислоты в поликомпонентном продукте в зависимости от дозировки фарша скумбрии в рецептуре и длительности хранения продукта. Математическая модель в виде уравнения регрессии уже имеется в распоряжении исследователя, требуется представить ее графически.

Дорожная карта решения

Наиболее просто, на взгляд авторов, 3D-модели по уравнению строить с помощью PTC MathCAD, однако это дорогостоящее коммерческое ПО гораздо реже встречается на компьютерах рядовых пользователей, чем MS Excel. Также работа в PTC MathCAD требует определенных навыков и опыта.

Поэтому воспользуемся уже известным нам инструментом «Таблица подстановки» с двумя переменными, где варьируются значения двух переменных.

Чтобы построить таблицу подстановки с двумя переменными, следует ввести два списка значений: в отдельный столбец и отдельную строку. Необходимы также две ячейки ввода, располагающихся вне таблицы данных.

Предположим, что математическая модель описывается уравнением регрессии вида $z = x^2 - y^2$, и построим трехмерную модель для следующего диапазона: $-5 \leq x \leq 5$, $-5 \leq y \leq 5$.

1. В ячейку A1 введем формулу $=A13*A13 - A14*A14$, которая ссылается на две ячейки ввода: A13 и A14 (рис. 3.14).

2. В тот же столбец ниже формулы введем значения подстановки для первой переменной (значения аргумента X). Значения подстановки для второй переменной (Y) введем в строку правее формулы.

3. Выделим диапазон ячеек, содержащий формулу и оба набора данных подстановки (A1:L12). Ячейки ввода в диапазон входить не должны.

4. Запускаем инструмент «Таблица подстановки». В поле «Подставлять значения по столбцам в» введем ссылку на ячейку ввода для значений подстановки в строке (A13). В поле «Подставлять значения по строкам в» введем ссылку на ячейку ввода для значений подстановки в столбце (A14).

Список значений, подставляемых в строку	=A13*A13-A14*A14												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Ячейка, содержащая формулу подстановки	1	0	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
	2	-5	0	-9	-16	-21	-24	-25	-24	-21	-16	-9	0
	3	-4	9	0	-7	-12	-15	-16	-15	-12	-7	0	9
	4	-3	16	7	0	-5	-8	-9	-8	-5	0	7	16
Список значений, подставляемых в столбец	5	-2	21	12	5	0	-3	-4	-3	0	5	12	21
	6	-1	24	15	8	3	0	-1	0	3	8	15	24
	7	0	25	16	9	4	1	0	1	4	9	16	25
	8	1	24	15	8	3	0	-1	0	3	8	15	24
Массив значений	9	2	21	12	5	0	-3	-4	-3	0	5	12	21
	10	3	16	7	0	-5	-8	-9	-8	-5	0	7	16
	11	4	9	0	-7	-12	-15	-16	-15	-12	-7	0	9
	12	5	0	-9	-16	-21	-24	-25	-24	-21	-16	-9	0
Ячейки ввода	13												
	14												

Рис. 3.14. Таблица подстановки для двух переменных

В результате подстановки будет заполнен массив значений, на основе которого и строится требуемая трехмерная модель (рис. 3.14, 3.15).

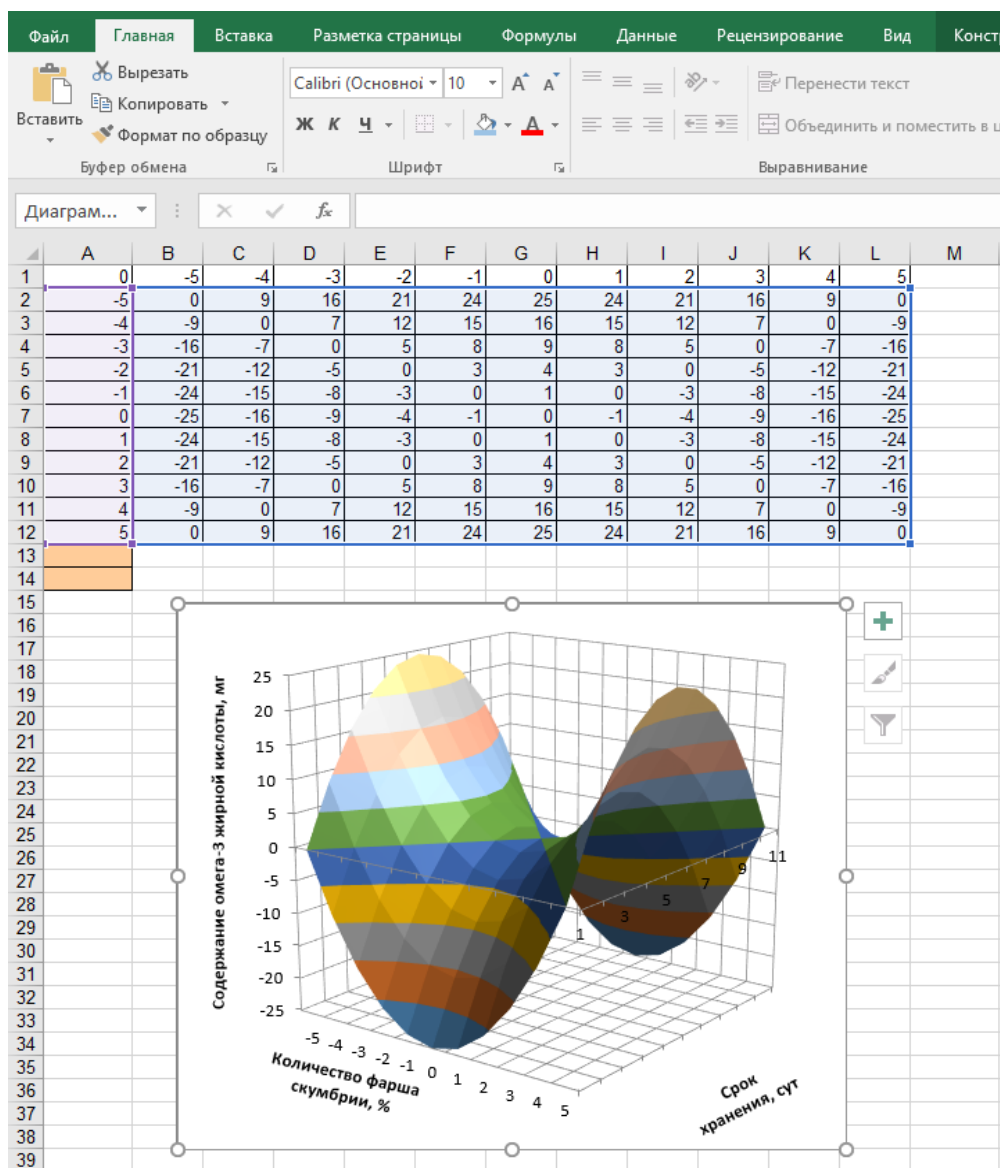


Рис. 3.15. Трехмерная модель содержания омега-3 жирной кислоты в продукте

3.11. Кейс «Составление дневного рациона с учетом суточных потребностей с помощью инструментов «Поиск решения» и «Анализ отчетов» MS Excel»

По результатам работы инструмента «Поиск решения» можно создавать *отчеты*. Эти отчеты полезны для сравнения влияния на решение различных ограничений или исходных данных. До получения отчета необходимо осуществить следующие этапы.

I. Анализ задачи и постановка проблемы.

На данном этапе надо:

- сформулировать проблему;
- сформулировать цели, которые должны быть достигнуты в результате реализации найденного решения;
- выявить и описать факторы, от которых может зависеть решение проблемы;
- выявить и описать ограничения, препятствующие достижению целей.

Эти пункты и составляют формальную модель проблемы.

II. Преобразование формальной модели, построенной на предыдущем этапе, в математическую модель.

III. Получение математического решения проблемы с помощью инструмента «Поиск решения». На этом этапе анализируется построенная математическая модель, проверяется адекватность модели и находится решение математической задачи, вытекающей из этой модели.

IV. Анализ полученного математического решения проблемы по отчетам и формулировка окончательного решения задачи.

Ситуация. Для поддержания нормальной жизнедеятельности человеку необходимо потреблять в сутки не менее 118 г белков, 56 г жиров, 500 г углеводов, 8 г минеральных веществ. Количество пищевых веществ, содержащихся в 1 кг каждого вида продуктов, а также условная цена 1 кг каждого из этих продуктов приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Исходные данные рациона нормальной жизнедеятельности человека

Питательные вещества	Содержание (г) пищевых веществ в 1 кг продуктов						
	мясо	рыба	молоко	масло	сыр	крупа	картофель
Белки	180	190	30	10	260	130	21
Жиры	20	3	40	865	310	30	2
Углеводы	–	–	50	6	20	650	200
Минеральные вещества	9	10	7	12	60	20	10
Цена 1 кг продуктов (руб.)	180	100	28	304	290	50	25

Требуется составить дневной рацион, содержащий не менее минимальной суточной нормы потребности человека в необходимых питательных веществах при минимальной общей стоимости потребляемых продуктов.

Дорожная карта решения

I. Анализ задачи и постановка проблемы.

- Постановка проблемы: разработать план, который минимизировал бы расходы с учетом всех видов ограничений.
- Цель: минимизировать расходы.
- Решение: количество продуктов, содержащихся в дневном рационе.
- Факторы, от которых зависит решение: цена каждого продукта, минимальная суточная норма потребности человека, количество питательных веществ.
- Факторы, влияющие на расходы: цена каждого продукта, количество питательных веществ.
- Ограничение: дневной рацион.

II. Построение математической модели.

Математическая модель должна содержать три основных компонента.

1. Переменные, значения которых необходимо вычислить (это *переменные решения из формальной модели*).

2. Целевая функция — это *цель*, записанная математически в виде функции от переменных. Обязательно указывается, что необходимо сделать с этой функцией для решения проблемы: найти ее максимум, минимум или конкретное заданное значение.

3. Ограничения — записанные математически *ограничения из формальной модели*.

Обозначим через *переменные* количество продуктов:

$$\begin{aligned} x_1 &= \text{мясо}; x_2 = \text{рыба}; x_3 = \text{молоко}; x_4 = \text{масло}; \\ x_5 &= \text{сыр}; x_6 = \text{крупа}; x_7 = \text{картофель}. \end{aligned}$$

Цены возьмем из условия задачи. Тогда суммарный расход z при покупке x_1 кг мяса, x_2 кг рыбы, x_3 кг молока, x_4 кг масла, x_5 кг сыра, x_6 кг крупы, x_7 кг картофеля составит:

$$z = 180 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 + 28 \cdot x_3 + 304 \cdot x_4 + 290 \cdot x_5 + 50 \cdot x_6 + 25 \cdot x_7. \quad (3.28)$$

Это целевая функция, которую необходимо *минимизировать*.

Ограничения. Первое ограничение говорит о том, что суммарное количество каждого из питательных веществ в продуктах должно быть

не меньше дневного рациона. Содержание питательных веществ в продуктах берем из условия. Для согласованности переменных переведем граммы в килограммы.

$$x_1 \cdot 0,18 + x_2 \cdot 0,19 + x_3 \cdot 0,03 + x_4 \cdot 0,01 + x_5 \cdot 0,26 + x_6 \cdot 0,13 + x_7 \cdot 0,021 \geq 0,118; \quad (3.29)$$

$$x_1 \cdot 0,02 + x_2 \cdot 0,003 + x_3 \cdot 0,04 + x_4 \cdot 0,865 + x_5 \cdot 0,31 + x_6 \cdot 0,03 + x_7 \cdot 0,002 \geq 0,056; \quad (3.30)$$

$$x_1 \cdot 0 + x_2 \cdot 0 + x_3 \cdot 0,05 + x_4 \cdot 0,006 + x_5 \cdot 0,02 + x_6 \cdot 0,65 + x_7 \cdot 0,2 \geq 0,5; \quad (3.31)$$

$$x_1 \cdot 0,009 + x_2 \cdot 0,01 + x_3 \cdot 0,007 + x_4 \cdot 0,012 + x_5 \cdot 0,06 + x_6 \cdot 0,02 + x_7 \cdot 0,01 \geq 0,008. \quad (3.32)$$

Также все переменные должны быть неотрицательными:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0. \quad (3.33)$$

Окончательно математическая модель нашей проблемы:
минимизировать $z = 180 \cdot x_1 + 100 \cdot x_2 + 28 \cdot x_3 + 304 \cdot x_4 + 290 \cdot x_5 + 50 \cdot x_6 + 25 \cdot x_7$

при выполнении ограничений:

$$x_1 \cdot 0,18 + x_2 \cdot 0,19 + x_3 \cdot 0,03 + x_4 \cdot 0,01 + x_5 \cdot 0,26 + x_6 \cdot 0,13 + x_7 \cdot 0,021 \geq 0,118; \quad (3.34)$$

$$x_1 \cdot 0,02 + x_2 \cdot 0,003 + x_3 \cdot 0,04 + x_4 \cdot 0,865 + x_5 \cdot 0,31 + x_6 \cdot 0,03 + x_7 \cdot 0,002 \geq 0,056; \quad (3.35)$$

$$x_1 \cdot 0 + x_2 \cdot 0 + x_3 \cdot 0,05 + x_4 \cdot 0,006 + x_5 \cdot 0,02 + x_6 \cdot 0,65 + x_7 \cdot 0,2 \geq 0,5; \quad (3.36)$$

$$x_1 \cdot 0,009 + x_2 \cdot 0,01 + x_3 \cdot 0,007 + x_4 \cdot 0,012 + x_5 \cdot 0,06 + x_6 \cdot 0,02 + x_7 \cdot 0,01 \geq 0,008; \quad (3.37)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0. \quad (3.38)$$

Любое решение (т. е. значение переменных $x_1, x_2, x_3, \dots, x_7$), удовлетворяющее *всем* ограничениям модели, называется *допустимым*.

Перенесем информацию на лист Excel (рис. 3.16).

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?										
Вставить функцию	Автосумма	Последние	Финансовые	Логические	Текстовые	Дата и время	Ссылки и массивы	Математические	Другие функции	Диспетчер имен
Библиотека функций										
I24										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		мясо	рыба	молоко	масло	сыр	крупы	картофель		
3										
4										
5		Коэффициенты целевой функции						Значение целевой функции		
6		мясо	рыба	молоко	масло	сыр	крупы	картофель		
7		180	100	28	304	290	50	25	=СУММПРОИЗВ(\$B\$3:\$H\$3;B7:H7)	
8										
9	Ограничения	Коэффициенты						Левая часть		Правая Часть
10	Белки	0,18	0,19	0,03	0,01	0,26	0,13	0,021	=СУММПРОИЗВ(\$B\$3:\$H\$3;B10:H10)	≥ 0,118
11	Жиры	0,02	0,003	0,04	0,865	0,31	0,03	0,002	=СУММПРОИЗВ(\$B\$3:\$H\$3;B11:H11)	≥ 0,056
12	Углеводы	0	0	0,05	0,006	0,02	0,65	0,2	=СУММПРОИЗВ(\$B\$3:\$H\$3;B12:H12)	≥ 0,5
13	Минеральные вещества	0,009	0,01	0,007	0,012	0,06	0,02	0,01	=СУММПРОИЗВ(\$B\$3:\$H\$3;B13:H13)	≥ 0,008
14										
15										
16		Решение								
17	Расходы	мясо	рыба	молоко	масло	сыр	крупы	картофель		
18	=I6	=B3	=C3	=D3	=E3	=F3	=G3	=H3		
19										

Рис. 3.16. Постановка задачи

III. Получение математического решения проблемы с помощью инструмента «Поиск решения» (рис. 3.17, 3.18).

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

☒ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Рис. 3.17. Диалоговое окно «Параметры поиска решения»

The screenshot displays an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		мясо	рыба	молоко	масло	сыр	круп	картофель			
2		0	0	0	0,033348194	0	0,905127062	0			
3											
4											
5		Коэффициенты целевой функции							Значение целевой функции		
6		мясо	рыба	молоко	масло	сыр	круп	картофель	55,39420419		
7		180	100	28	304	290	50	25			
8											
9		Ограничения							Коэффициенты		
10		Белки	0,18	0,19	0,03	0,01	0,3	0,13	0,021	0,118	≥
11		Жиры	0,02	0	0,04	0,865	0,3	0,03	0,002	0,056	≥
12		Углеводы	0	0	0,05	0,006	0	0,65	0,2	0,588532679	≥
13		Минеральные вещества	0,01	0,01	0,007	0,012	0,1	0,02	0,01	0,01850272	≥
14											
15											
16		Решение									
17		Расходы	мясо	рыба	молоко	масло	сыр	круп	картофель		
18		55,39420419	0	0	0	0,033348194	0	0,905127062	0		
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											

The Solver Results dialog box shows the following options:

- ☒ Сохранить найденное решение
- ☐ Восстановить исходные значения
- ☐ Вернуться в диалоговое окно параметров поиска решения
- ☐ Отчеты со структурами

Buttons: ОК, Отмена, Сохранить сценарий

Message: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Additional text: Если используется модуль ОПГ, то найдено по крайней мере локально оптимальное решение. Если используется модуль поиска решений линейных задач симплекс-методом, то найдено глобально оптимальное решение.

Рис. 3.18. Использование инструмента «Поиск решения»

Решение (см. рис. 3.18), найденное с помощью MS Excel, нельзя воспринимать как готовое управленческое решение. В данном случае суточный рацион состоит только из крупы с маслом, что явно не отвечает требованиям сбалансированного питания. Однако все ограничения по содержанию белков, жиров, углеводов и минеральных веществ выполнены. Таким образом, проблема не в Excel, а в математической постановке задачи — необходимо добавлять дополнительные ограничения с учетом требований нутрициологии.

Если оптимальное решение не найдено

Причины прекращения работы надстройкой «Поиск решения» без нахождения оптимального решения:

- при решении нелинейной задачи в диалоговом окне «Параметры поиска решения» установлен флажок «Линейная модель»;
- процесс поиска решения был прерван пользователем, или пользователь нажал кнопку «Стоп» в режиме пошагового выполнения итераций;
- модель включает переменные, значения которых отличаются на несколько порядков, и при этом флажок «Автоматическое масштабирование» в диалоговом окне «Параметры поиска решения» (Solver Options) не включен;
- количество итераций или время поиска решения превысило максимально допустимое;
- значение целевой ячейки неограниченно возрастало или убывало;
- при использовании условия целочисленности задано слишком маленькое «Допустимое отклонение» (параметр в диалоговом окне «Параметры поиска решения»);
- в диалоговом окне «Параметры поиска решения» установлен флажок «Показывать результаты итераций»;
- при решении нелинейной задачи с медленной сходимостью параметр «Сходимость» в диалоговом окне «Параметры поиска решения» имеет слишком большое значение.

IV. Анализ полученного математического решения проблемы по отчетам и формулировка окончательного решения задачи.

«Поиск решения» может генерировать три вида отчетов: отчет по результатам, отчет по устойчивости и отчет по пределам (рис. 3.19–3.21).

Отчет по результатам (см. рис. 3.19) полезен для анализа чувствительности только тем, что там явно указано, какие ограничения *связанные* и какие *несвязанные*. Связанные — при увеличении правой стороны ограничения последует изменение переменных. Допуск — количество, на которое можно изменить правую сторону ограничения без изменения переменных.

Отчет по устойчивости (см. рис. 3.20) более существенен для анализа чувствительности.

4	Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.			
5	Модуль поиска решения			
6	Модуль: Поиск решения линейных задач симплекс-методом			
7	Время решения: 0,016 секунд.			
8	Число итераций: 6 Число подзадач: 0			
9	Параметры поиска решения			
10	Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001, Использовать автоматическое масштабирование			
11	Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 1%, Считать неотрицательными			
12				
13				
14	Ячейка целевой функции (Минимум)			
15	Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
16	\$I\$6	картофель Значение целевой функции	0	55,39420419
17				
18				
19	Ячейки переменных			
20	Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение Целочисленное
21	\$B\$3:\$H\$3			
22	\$B\$3	мясо	0	0 Продолжить
23	\$C\$3	рыба	0	0 Продолжить
24	\$D\$3	молоко	0	0 Продолжить
25	\$E\$3	масло	0	0,033348194 Продолжить
26	\$F\$3	сыр	0	0 Продолжить
27	\$G\$3	крупа	0	0,905127062 Продолжить
28	\$H\$3	картофель	0	0 Продолжить
29				
30				
31				
32	Ограничения			
33	Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула Состояние Допуск
34	\$I\$10:\$I\$13 >= \$K\$10:\$K\$13			
35	\$I\$10	Белки Левая часть	0,118	\$I\$10>=\$K\$10 Привязка 0
36	\$I\$11	Жиры Левая часть	0,056	\$I\$11>=\$K\$11 Привязка 0
37	\$I\$12	Углеводы Левая часть	0,588532679	\$I\$12>=\$K\$12 Без привязки 0,088532679
38	\$I\$13	Минеральные вещества Левая часть	0,01850272	\$I\$13>=\$K\$13 Без привязки 0,01050272
39				

Рис. 3.19. Отчет по результатам

7	A	B	C	D	E	F	G	H
8			Окончательное	Приведенн.	Целевая функция	Допустимое	Допустимое	
9	Ячейка	Имя	Значение	Стоимость	Коэффициент	Увеличение	Уменьшение	
10	\$B\$3:\$H\$3							
10	\$B\$3	мясо	0	118,2630406	180	1E+30	118,2630406	
11	\$C\$3	рыба	0	41,13455194	100	1E+30	41,13455194	
12	\$D\$3	молоко	0	4,953187695	28	1E+30	4,953187695	
13	\$E\$3	масло	0,033348194	0	304	129,1860465	300,1538462	
14	\$F\$3	сыр	0	103,0182791	290	1,00E+30	103,0182791	
15	\$G\$3	крупа	0,905127062	0	50	21,74168297	39,4566474	
16	\$H\$3	картофель	0	17,91333036	25	1E+30	17,91333036	
17								
18								
19	Ограничения							
20			Окончательное	Тень	Ограничение	Допустимое	Допустимое	
21	Ячейка	Имя	Значение	Цена	Правая сторона	Увеличение	Уменьшение	
22	\$I\$10:\$I\$13 >= \$K\$10:\$K\$13							
23	\$I\$10	Белки Левая часть	0,118	304,3245653	0,118	0,124666667	0,017664953	
24	\$I\$11	Жиры Левая часть	0,056	347,9268836	0,056	1,735828671	0,028769231	
25	\$I\$12	Углеводы Левая часть	0,588532679	0	0,5	0,088532679	1E+30	
26	\$I\$13	Минеральные вещества Левая часть	0,01850272	0	0,008	0,01050272	1E+30	
27								

Рис. 3.20. Отчет по устойчивости

В таблице «Изменяемые ячейки» отчета по устойчивости приведена информация о значениях изменяемых ячеек:

– адреса изменяемых ячеек и их имена;

- столбец «Приведенн. стоимость» показывает, на сколько изменится целевая функция, если потребуются принудительно включить в рацион 1 единицу продукта;
- значения в столбцах «Допустимое увеличение» и «Допустимое уменьшение» показывают, в каких пределах может изменяться целевой коэффициент при условии, что найденные значения переменных останутся неизменными ($1E+30$ — бесконечность).

В таблице «Ограничения» приведена информация об ограничениях:

- адреса ячеек, на значения которых наложены ограничения, и их имена;
- столбец «Тень. Цена» показывает, на сколько изменится значение целевой функции, если на единицу изменится значение правой части данного ограничения; теневая цена отлична от нуля только тогда, когда данное ограничение в оптимальном решении является связанным (и решение не вырождено);
- значения правых частей ограничений;
- значения в столбцах «Допустимое увеличение» и «Допустимое уменьшение» показывают пределы изменения правой части ограничения, в которых действует приведенное значение теневой цены данного ограничения (на сколько можно изменить правую часть, чтобы закупились те же самые продукты).

Наиболее важными данными для анализа чувствительности в этом отчете являются нормированные стоимости и теневые цены. *Важно отметить*, что значения теневых цен подсчитаны в предположении, что изменится значение правой части только *одного* ограничения при условии постоянства всех остальных параметров модели.

Необходимо определить количество произведенного плавленого сыра «Сырок» и автоматически рассчитать прибыль.

Таблица 3.13

Исходные данные

Наименование продукта	Объем выработки, т/сут.	Расход сыра сычужного натурального разных видов на 1 т продукта, кг	Прибыль от продажи 1 т продукта, руб.
Копченый колбасный сыр	24,00	170	650
Плавленый сыр «Янтарь»	13,50	200	600
Плавленый сыр «Сырок»	<i>x</i>	190	850

Дорожная карта решения

В Microsoft Excel создаем таблицу и заполняем ячейки (кроме C8 и C12) согласно рис. 3.22.

	A	B	C	D
1	Параметры	Ед. изм.	Значения	
2	Производство копченого колбасного сыра в сутки	т	24,00	
3	Производство плавленого сыра "Янтарь" в сутки	т	13,50	
4	Производство плавленого сыра "Сырок" в сутки	т		
5	Прибыль от 1т копченого колбасного сыра	руб.	650,00	
6	Прибыль от 1т плавленого сыра "Янтарь"	руб.	600,00	
7	Прибыль от 1 т плавленого сыра "Сырок"	руб.	875,00	
8	Прибыль всего	руб.		
9	Расход сычужного сыра на 1т копченого колбасного сыра	кг	170,00	
10	Расход сычужного сыра на 1т плавленого сыра "Янтарь"	кг	200,00	
11	Расход сычужного сыра на 1т плавленого сыра "Сырок"	кг	190,00	
12	Расход сычужного сыра всего за сутки	кг		
13				

Рис. 3.22. Исходные данные

Суточная прибыль завода (ячейка C8) рассчитывается по формуле

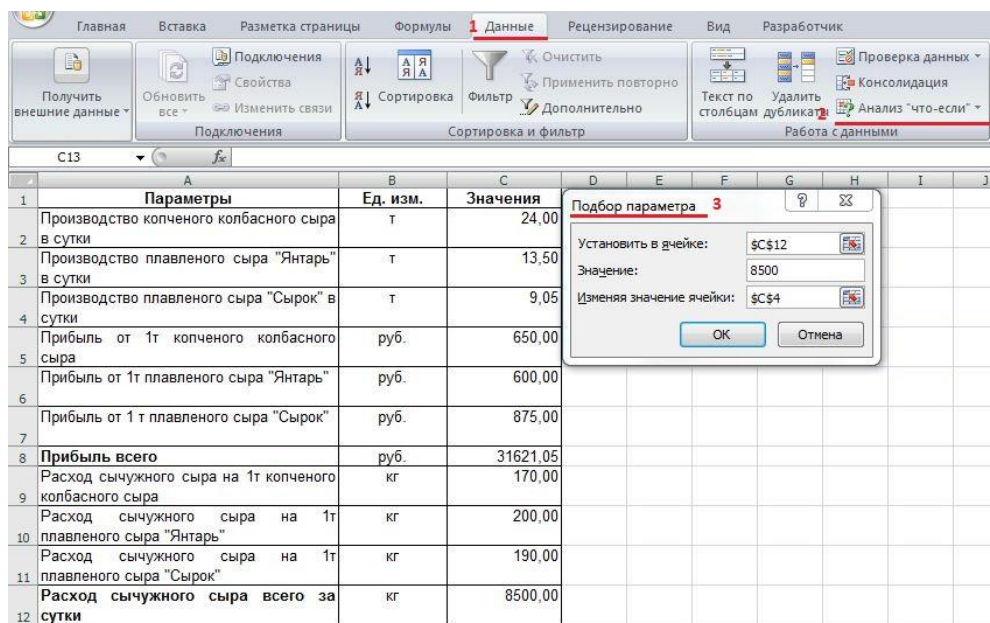
$$\text{Прибыль} = C2 * C5 + C3 * C6 + C4 * C7. \quad (3.39)$$

Расход сычужного сыра за сутки (ячейка C12) рассчитывается по формуле

$$\text{Расход} = C9 * C2 + C10 * C3 + C11 * C4. \quad (3.40)$$

Для решения задачи используем функцию «Подбор параметра».

1. Данные — Анализ "что-если" — «Подбор параметра» (рис. 3.23).
2. В диалоговом окне «Подбор параметра» в поле «Установить в ячейке» указать ячейку D12, в поле «Значение» ввести 8 500, в поле «Изменяя значение ячейки» указать ячейку D3. Нажать кнопку ОК (рис. 3.24).
3. Результат вычисления отобразится в диалоговом окне «Результат подбора параметра». После нажатия кнопки ОК результаты вычисления будут вставлены в таблицу (см. рис. 3.24). Плавленного сыра «Сырок» необходимо производить 9,05 т/сут.



	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Л
1	Параметры	Ед. изм.	Значения							
2	Производство копченого колбасного сыра в сутки	т	24,00							
3	Производство плавленного сыра "Янтарь" в сутки	т	13,50							
4	Производство плавленного сыра "Сырок" в сутки	т	9,05							
5	Прибыль от 1т копченого колбасного сыра	руб.	650,00							
6	Прибыль от 1т плавленного сыра "Янтарь"	руб.	600,00							
7	Прибыль от 1 т плавленного сыра "Сырок"	руб.	875,00							
8	Прибыль всего	руб.	31621,05							
9	Расход сычужного сыра на 1т копченого колбасного сыра	кг	170,00							
10	Расход сычужного сыра на 1т плавленного сыра "Янтарь"	кг	200,00							
11	Расход сычужного сыра на 1т плавленного сыра "Сырок"	кг	190,00							
12	Расход сычужного сыра всего за сутки	кг	8500,00							

Рис. 3.23. Работа с инструментом «Подбор параметра»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Параметры	Ед. изм.	Значения	Результат подбора параметра Подбор параметра для ячейки C12. Решение найдено. Подбираемое значение: 8500 Текущее значение: 8500,00 Шаг Пауза ОК Отмена					
2	Производство копченого колбасного сыра в сутки	т	24,00						
3	Производство плавленого сыра "Янтарь" в сутки	т	13,50						
4	Производство плавленого сыра "Сырок" в сутки	т	9,05						
5	Прибыль от 1т копченого колбасного сыра	руб.	650,00						
6	Прибыль от 1т плавленого сыра "Янтарь"	руб.	600,00						
7	Прибыль от 1 т плавленого сыра "Сырок"	руб.	875,00						
8	Прибыль всего	руб.	31621,05						
9	Расход сычужного сыра на 1т копченого колбасного сыра	кг	170,00						
10	Расход сычужного сыра на 1т плавленого сыра "Янтарь"	кг	200,00						
11	Расход сычужного сыра на 1т плавленого сыра "Сырок"	кг	190,00						
12	Расход сычужного сыра всего за сутки	кг	8500,00						

Рис. 3.24. Результат решения задачи

Ситуация. Предприятию необходимо приобрести в кредит две технологические линии по цене 6,5 млн руб. Менеджер должен оценить условия получения кредита, провести анализ возможных вариантов, а затем заключить договоры на приобретение. Сумма ежемесячного платежа не должна превышать 500 000 руб.

Дорожная карта решения

Для решения задачи воспользуемся инструментом «Подбор параметра» и финансовой функцией ПЛТ (возвращает сумму периодического платежа для аннуитета на основе постоянства сумм платежей и постоянства процентной ставки).

Введем в Microsoft Excel исходные данные задачи (рис. 3.25).

	A	B	C	D	E
1		Расчет платежей			
2		Цена за технологическую линию	6500000		
3		Кол-во шт.	2		
4		Сумма	13000000	Общ. Стоимость=C3*C4	
5					
6		Платежи			
7		Сумма кредита	13000000	Пс=C4	
8		% банка за кредит	12%		
9		Срок мес.	24	Кпер	
10		Выплаты % по периодам	0,50%	Ставка=C8/C9	
11		Приодич. Платеж	-573 301,43р.	Платеж=ПЛТ(C10;C9;C7;0;1)	
12					

Рис. 3.25. Исходные данные

Поскольку расчетный размер периодического платежа превышает планируемый, то для его снижения необходимо продлить срок выплаты кредитной задолженности. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. Вызвать инструмент «Подбор параметра» (Данные — Анализ "что-если" — Подбор параметра).
2. Ввести в диалоговое окно условия, которые удовлетворяют заемщика, как это показано на рис. 3.26.

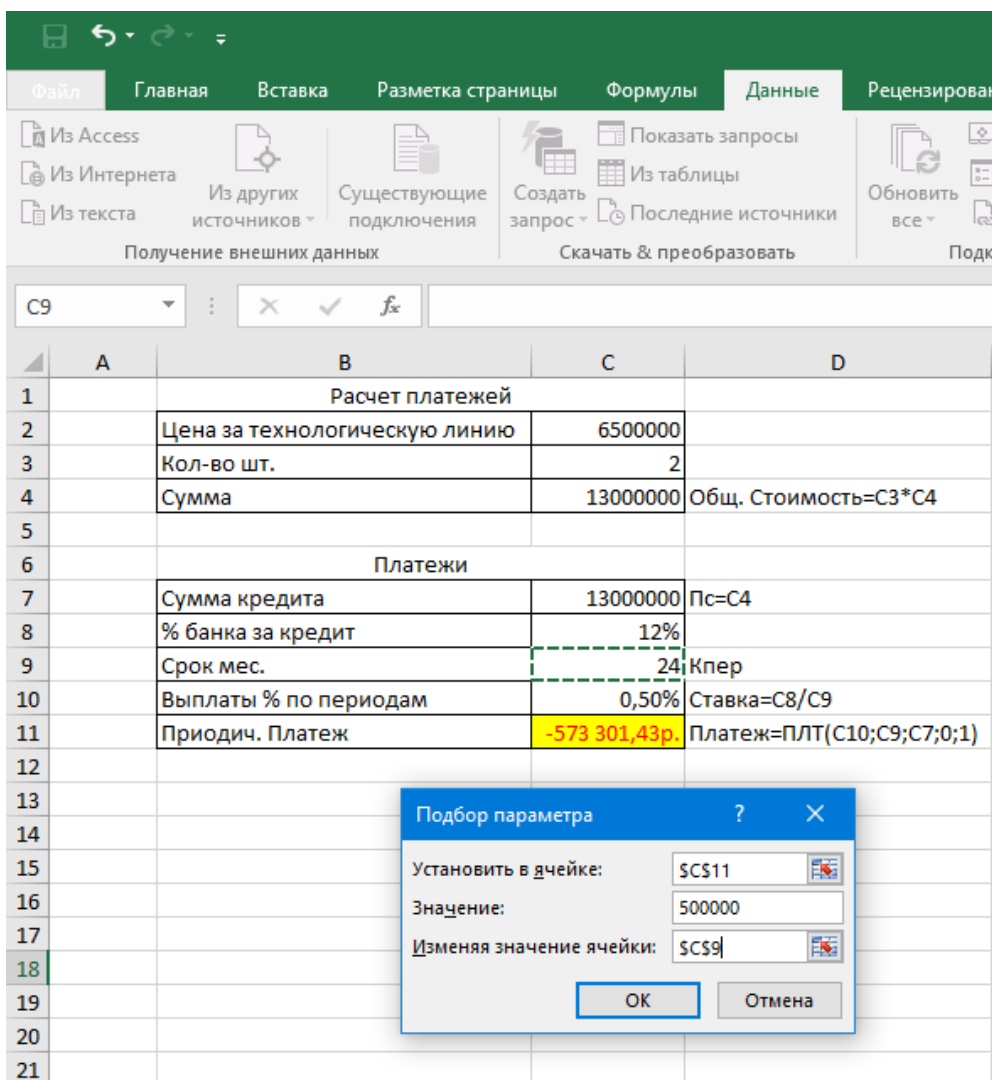


Рис. 3.26. Подбор параметра, удовлетворяющего условию задачи

3. Проанализировать результат, который отображается в диалоговом окне, представленном на рис. 3.27.

Поскольку банки выдают кредиты на целое число лет, то в месяцах это составит 12, 24, 36 и т. д. Чтобы завод уложился в планируемую сумму, необходимо установить период платежа больше расчетного, т. е. в 36 месяцев (рис. 3.28). При таком сроке сумма ежемесячного платежа составит 382 536,68 руб., что удовлетворяет условию задачи.

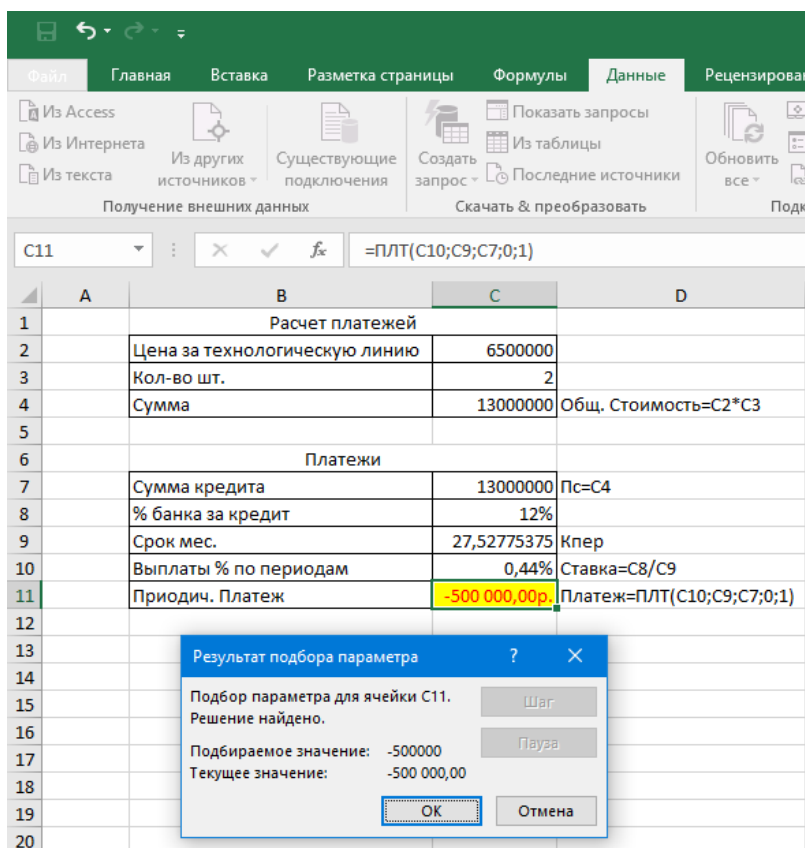


Рис. 3.27. Анализ результата

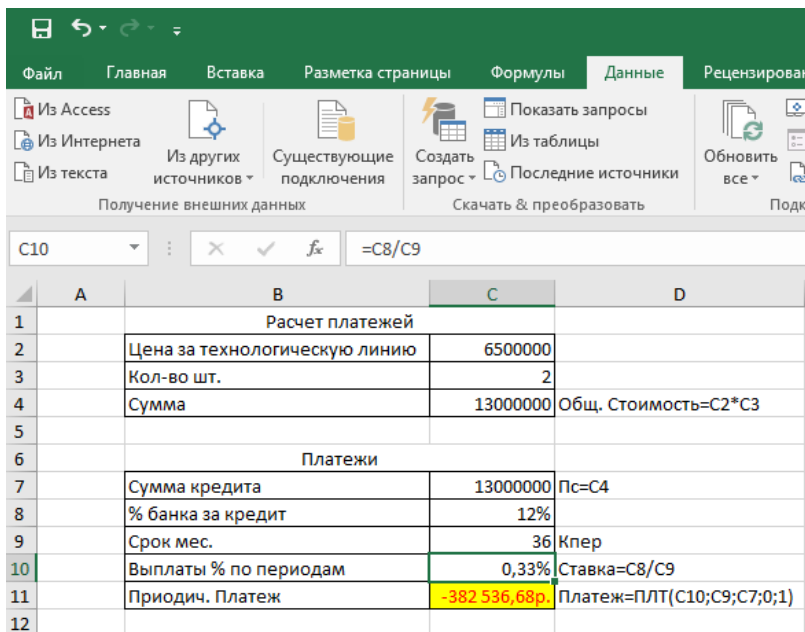


Рис. 3.28. Результат решения задачи

3.13. Кейс «Автоматизация с помощью MS Excel принятия решений с учетом ограничивающих факторов»

Ситуация. Завод плавленых сыров производит три вида продукции: копченый колбасный сыр, плавленый сыр «Янтарь», плавленый сыр «Сырок» (табл. 3.14).

Поставщик сырья, используемого при производстве всех трех видов продукции, может поставить в течение недели сыра сычужного натурального разных видов с содержанием сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 % — 9 000 кг; масла крестьянского с содержанием сухого вещества 75 %, жира 72,5 % — 2 550 кг. Вместимость складских помещений не позволяет создавать запасы готовой продукции.

Требуется рекомендовать ассортимент продукции, который максимально увеличит прибыль завода в предстоящий период. Завод имеет надежного партнера, которому он хотел бы гарантировать поставку 17 тыс. кг плавленого сыра «Янтарь». Нужно учесть данное условие.

Таблица 3.14

Исходные данные о продукции

	A	B	C	D
1		Виды продукции		
2		Копченый колбасный сыр	Плавленый сыр «Янтарь»	Плавленый сыр «Сырок»
3	Количество сыра сычужного натурального разных видов с содержанием сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %, на 1 000 кг	170	200	190
4	Количество масла крестьянского с содержанием сухого вещества 75 %, жира 72,5 %, на 1 000 кг	44,8	78,3	75,5
5	Максимальный спрос, тыс. кг	24	13,5	9,9
6	Прибыль от проданной единицы продукции	650	600	875

Дорожная карта решения

Проверим достаточность объемов поставляемого сырья для удовлетворения рыночного спроса и определим ограничивающий фактор.

Определяем требуемое количество сырья (V_i , кг) по формуле

$$V_i = \text{Спрос}_i \cdot \text{Кол.сыр}_i, \quad (3.41)$$

где Спрос_i — максимальный спрос по каждому виду продукта (ячейки B5:D5), тыс. кг;

Кол.сыр_i — количество каждого вида сыра для производства продукта (сыр сычужный — ячейки B3:D3; масло — ячейки B4:D4), кг/1 000 кг готового продукта.

Требуемое количество сыра сычужного рассчитывается по формуле

$$\text{Сыр} = \text{СУММ}(B13:D13). \quad (3.42)$$

Требуемое количество масла рассчитывается по формуле

$$\text{Масло} = \text{СУММ}(B15:D15). \quad (3.43)$$

Результаты расчетов занесены в табл. 3.15.

Объем поставки сыра сычужного по условию задачи составляет 9 000 кг, что полностью удовлетворяет потребность (8 661 кг). Поставка же масла крестьянского в количестве 2 550 кг будет служить **ограничивающим фактором**, поскольку потребности выше — 2 879,7 кг.

Таблица 3.15

Определения объемов сырья для удовлетворения спроса

	A	B	C	D	E
9		Виды продукции			Итого
10		<i>Копченый колбасный сыр</i>	<i>Плавленный сыр «Янтарь»</i>	<i>Плавленный сыр «Сырок»</i>	
11	Максимальный спрос, тыс. кг	24	13,5	9,9	
12	Количество сыра сычужного, на 1 000 кг	170	200	190	
13	Итого, требуется сыра сычужного, кг	4 080	2 700	1 881	8 661
14	Количество масла крестьянского, на 1 000 кг	44,8	78,3	75,5	
15	Итого, требуется масла крестьянского, кг	1 075,2	1 057,05	747,45	2 879,7

На следующем шаге ранжируем продукцию в порядке ее прибыли на единицу ограничивающего фактора, используя следующую формулу и сводя результаты в табл. 3.16:

$$\begin{cases} = \text{РАНГ}(B22; B22 : D22; 0); \\ = \text{РАНГ}(C22; B22 : D22; 0); \\ = \text{РАНГ}(D22; B22 : D22; 0). \end{cases} \quad (3.44)$$

Таблица 3.16

Определение приоритета производства продукции

	A	B	C	D
18		Виды продукции		
19		Копченый колбасный сыр	Плавленный сыр «Янтарь»	Плавленный сыр «Сырок»
20	Прибыль от проданной единицы продукции	650	600	875
21	Количество масла крестьянского, используемого на единицу продукции, кг	44,8	78,3	75,5
22	Прибыль на кг масла крестьянского	14,51	7,66	11,59
23	Порядок ранжирования	1	3	2

Имеющийся объем масла крестьянского будет распределен по видам продукции согласно данному порядку ранжирования с тем, чтобы предложить оптимальный план на следующий период (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Рекомендуемый план выпуска продукции

	A	B	C
25	Продукт	Рекомендуемый план, тыс. кг	Используемый объем масла крестьянского, кг
26	Копченый колбасный сыр	24 (максимум)	1075,2
27	Плавленный сыр «Сырок»	9,9 (максимум)	747,45
28	Плавленный сыр «Янтарь»	9,63	727,35
			2 550

Количество сырья для продукта с наименьшим рангом определяется как разность имеющегося сырья и количества сырья для продукции с большими рангами:

$$\text{Сырье} = C29 - (C26 + C27). \quad (3.45)$$

Количество продукта с наименьшим рангом определяется по формуле

$$\text{Продукт} = C28 / D4. \quad (3.46)$$

Рекомендованный план, представленный в табл. 3.17, не включает в себя достаточный объем плавленого сыра «Янтарь» для удовлетворения требования относительно поставки 17 тыс. кг ценному партнеру. План должен быть пересчитан и приоритет отдан 17 тыс. кг. плавленого сыра «Янтарь» для важного клиента. Тогда рекомендуемый план будет выглядеть следующим образом (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Рекомендуемый план выпуска продукции
с учетом ограничивающего фактора

	А	В	С
33	Продукт	Рекомендуемый план, тыс. кг	Используемый объем масла крестьянского, кг
34	Плавленый сыр «Янтарь»	17	1331,1
35	Копченый колбасный сыр	24	1075,2
36	Плавленый сырок	3,21	143,7
			2 550

Данная рекомендация оптимальным образом учитывает имеющийся запас масла крестьянского в рамках ограничений по каждому продукту.

3.14. Кейс «Решение оптимизационных задач методом линейного программирования»

В предыдущем кейсе мы изучили, как принимать решения с учетом ограничивающих факторов. Если ограничивающий фактор один (например, суточная норма потребления нутриента), решение может быть найдено с применением простых формул. Если же ограничивающих факторов несколько, применяется метод линейного программирования.

Линейное программирование — комбинация инструментов, позволяющих распределить ограниченные ресурсы с учетом максимизации или минимизации заранее заданных желаемых численных величин.

Линейное программирование предусматривает построение математической модели рассматриваемой задачи. Построение математической модели требует перевода задачи в систему переменных величин, уравнений и неравенств — процесс, зависящий от опыта и интуиции составителя модели. Затем решение может быть найдено графически с использованием MS Excel или других компьютерных программ.

Графический метод решения задач линейного программирования включает следующие шаги.

1. Начертите оси (два параметра решения); нарисуйте только 1-й квадрант.

2. Определите координаты точек пересечения всех граничных условий с осями, подставляя в уравнения граничных условий поочередно значения $x_1 = 0$ и $x_2 = 0$.

3. Нанести линии ограничений модели на график.

4. Определите на графике допустимую область принятия решения, которая соответствует всем ограничениям (если допустимая область отсутствует — задача не имеет решения).

5. Определите значения переменных в крайних точках допустимой области и рассчитайте соответствующее значение целевой переменной Z .

6. Для задач максимизации решение — точка, в которой Z максимально, для задач минимизации решение — точка, в которой Z минимально.

Ситуация. Завод производит плавленые сыры. В будущем месяце планируется изготавливать два продукта (копченый колбасный сыр и плавленый сыр «Янтарь»), по которым прибыль оценивается в 650 и 600 руб. соответственно. Изготовление обоих продуктов требует затрат времени на машинную обработку, сырье и труд (табл. 3.19). На изготовление каждой тонны копченого колбасного сыра отводится 3,5 часа машинной обработки, 170 единиц сырья и 4 единицы труда. Соответствующие требования к тонне плавленого сыра «Янтарь» составляют 1,5, 200 и 4. По плану в следующем месяце на изготовление данных продуктов будет предоставлено 360 часов машинной обработки, 30 000 кг сырья и 360 единиц труда. Технология

производственного процесса такова, что не менее 20 тонн копченого колбасного сыра необходимо изготавливать в каждый конкретный месяц.

Таблица 3.19

Исходные данные

Наименование ресурса	Потребление ресурсов на единицу продукта		Планируемый объем ресурсов на следующий месяц
	Копченый колбасный сыр	Плавленный сыр «Янтарь»	
Часов машинной обработки	3,5	1,5	360
Единиц сыра сычужного натурального разных видов с содержанием сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 % на 1 000 кг	170	200	30 000
Единиц труда	3	4	360

Необходимо построить модель для того, чтобы определить количество тонн копченого колбасного сыра и плавленного сыра «Янтарь», которые завод должен производить в следующем месяце для максимизации прибыли.

Дорожная карта решения

Линейная модель может быть построена в четыре этапа.

1. Определение переменных.

Существует целевая переменная (обозначим ее Z), которую необходимо оптимизировать, т. е. максимизировать или минимизировать (например, прибыль, выручка или расходы). Нам необходимо максимизировать прибыль, следовательно, целевая переменная Z = суммарная прибыль (в рублях), полученная в следующем месяце в результате производства продуктов.

Для определения целевой функции зададимся переменными, чьи значения необходимо определить для получения оптимальной величины целевой функции:

x_1 = количество тонн копченого колбасного сыра, произведенных в следующем месяце;

x_2 = количество тонн плавленного сыра «Янтарь», произведенных в следующем месяце.

Очень важно четко определить все переменные величины; особое внимание уделите единицам измерения и периоду времени, к которому относятся переменные.

2. Построение целевой функции.

Тонна изготовленного копченого колбасного сыра приносит прибыль 650 руб. Тогда при изготовлении x_1 тонн копченого колбасного сыра прибыль составит $650 \cdot x_1$ руб.

Следовательно, при изготовлении x_2 тонн плавленого сыра «Янтарь» прибыль составит $600 \cdot x_2$ руб.

Целевая переменная определяется формулой

$$Z = 650 \cdot x_1 + 600 \cdot x_2 . \quad (3.47)$$

Наша задача — максимизировать этот показатель.

3. Определение ограничений.

Для производства копченого колбасного сыра и плавленого сыра «Янтарь» необходимы время машинной обработки, сырье и труд, и доступность этих ресурсов ограничена. Объемы производства этих двух продуктов (т. е. значения x_1 и x_2) будут ограничены тем, что количество ресурсов, необходимых в производственном процессе, не может превышать имеющееся в наличии. Рассмотрим ситуацию со временем машинной обработки.

На изготовление каждой тонны копченого колбасного сыра требуется 3,5 часа машинной обработки, для x_1 тонн будет затрачено $3,5 \cdot x_1$ машинного времени. Соответственно, на изготовление x_2 тонн плавленого сыра «Янтарь» будет затрачено $1,5 \cdot x_2$ машинного времени.

Всего выделено 360 часов машинного времени, выражаемого формулой

$$360 \geq 3,5 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2 . \quad (3.48)$$

Объем сырья, затрачиваемый на изготовление продукции, выражается формулой

$$30\,000 \geq 170 \cdot x_1 + 200 \cdot x_2 . \quad (3.49)$$

Общее количество единиц труда выражается формулой

$$360 \geq 3 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 . \quad (3.50)$$

Кроме того, плавленого сыра «Янтарь» должно быть изготовлено не менее 20 тонн, что выражается формулой

$$x_1 \geq 20. \quad (3.51)$$

4. Запись условий неотрицательности.

Искомые переменные не могут быть отрицательными числами, что необходимо записать в виде неравенств $x_1 \geq 0$ и $x_2 \geq 0$. Однако по условию задачи определено, что $x_1 \geq 96$.

Решением задачи будет решение системы уравнений и неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = 650 \cdot x_1 + 600 \cdot x_2; \\ 360 \geq 3,5 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2; \\ 30000 \geq 170 \cdot x_1 + 200 \cdot x_2; \\ 360 \geq 3 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2, \\ x_1 \geq 20; \\ x_2 \geq 0. \end{array} \right. \quad (3.52)$$

Решим задачу графическим методом.

Для решения задачи определим функциональную зависимость объема выпускаемого копченого колбасного сыра x_1 от объема выпускаемого и плавленого сыра «Янтарь» x_2 :

$$x_1 = f(x_2). \quad (3.53)$$

Обозначим оси координат на рис. 3.29. Поскольку обе переменные должны быть неотрицательными, рисуется только 1-й квадрант.

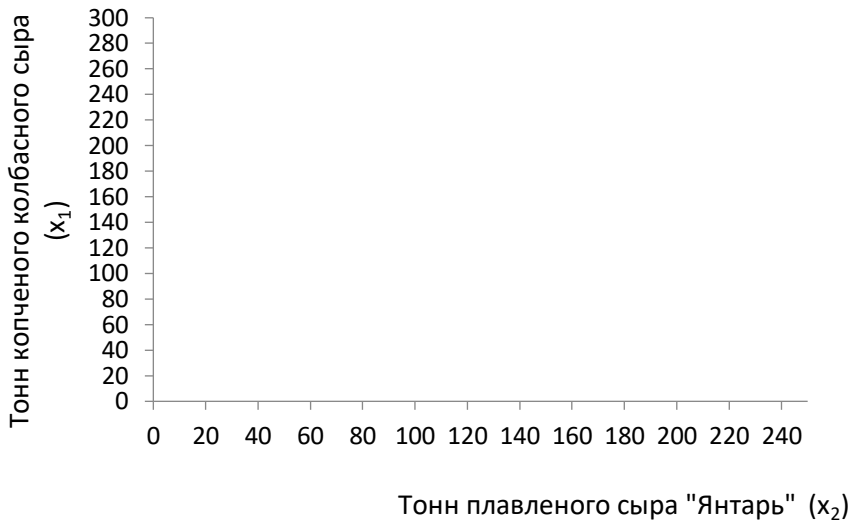


Рис. 3.29. Оси графика линейного программирования

Первое ограничение описано формулой (3.48). Область решений неравенства ограничена прямой $360 = 3,5 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2$ и осями X и Y . Определим границы допустимых значений и точки пересечения с осями координат. Значения внесем в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Ограничения решения поставленной задачи

Область допустимых значений	Граница допустимых значений	Пересечение с осью x_1	Пересечение с осью x_2
$360 \geq 3,5 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2$	$360 = 3,5 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2$	$x_1 = 102,9;$ $x_2 = 0$	$x_1 = 0;$ $x_2 = 240$
$30\,000 \geq 170 \cdot x_1 + 200 \cdot x_2$	$30\,000 = 170 \cdot x_1 + 200 \cdot x_2$	$x_1 = 176,5;$ $x_2 = 0$	$x_1 = 0;$ $x_2 = 150$
$360 \geq 3 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2$	$360 = 3 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2$	$x_1 = 120;$ $x_2 = 0$	$x_1 = 0;$ $x_2 = 90$
$x_1 \geq 20$	$x_1 = 20$	$x_1 = 20;$ $x_2 = 0$	не пересекает; идет параллельно оси x_2

Графически первое ограничение отражено на рис. 3.30.

Любая точка в пределах выделенного треугольника или на его границах будет соответствовать этому ограничению. Такие точки называются допустимыми, а точки за пределами треугольника называются недопустимыми.

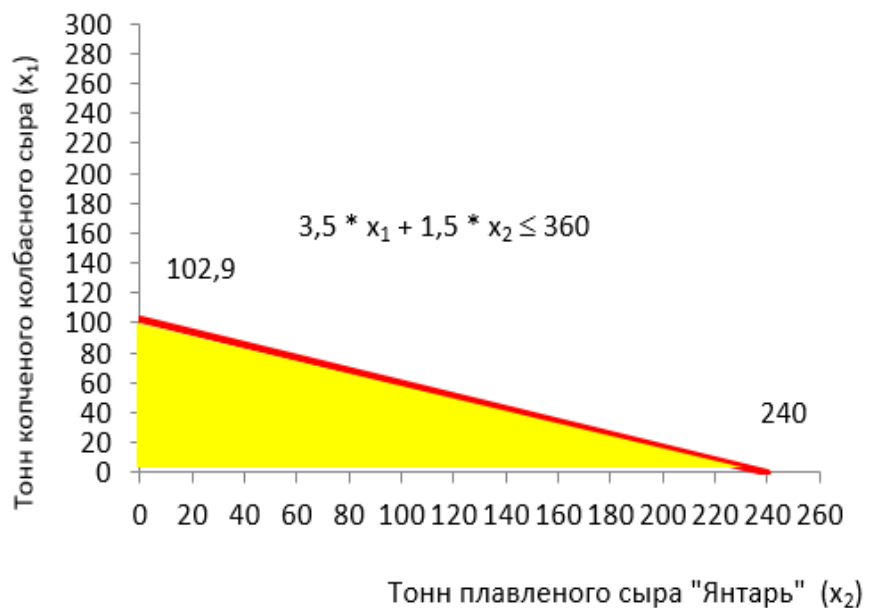


Рис. 3.30. Построение области допустимых решений для первого ограничения

Наносим на график остальные ограничения (рис. 3.31). Значения x_1 и x_2 на или внутри заштрихованной области $ABCD$ будут соответствовать всем ограничениям модели. Такая область называется областью допустимых решений.

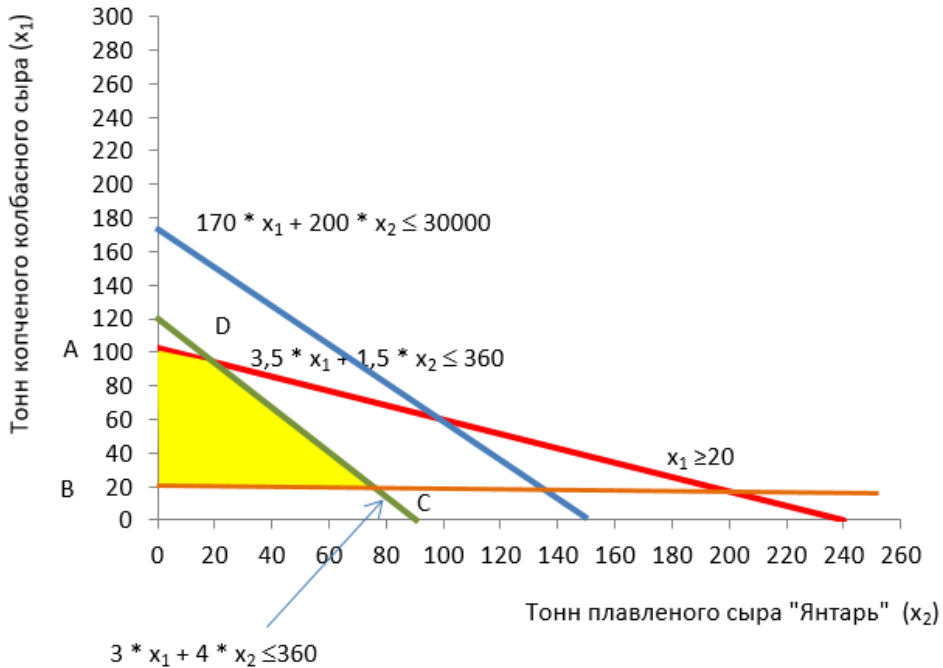


Рис. 3.31. Область допустимых решений для модели в целом

Теперь в области допустимых решений необходимо определить значения x_1 и x_2 , которые максимизируют Z . Для этого в уравнении целевой функции (формула (3.47))

$$Z = 650 \cdot x_1 + 600 \cdot x_2$$

разделим (или умножим) коэффициенты перед x_1 и x_2 на одно и то же число так, чтобы получившиеся значения попали в диапазон, отражаемый на графике; в нашем случае такой диапазон — от 0 до 80; поэтому коэффициенты можно разделить на 50:

$$Z = 13 \cdot x_1 + 12 \cdot x_2, \quad (3.54)$$

затем присвоим Z значение, равное произведению коэффициентов перед x_1 и x_2 ($13 \cdot 12 = 156$):

$$156 = 13 \cdot x_1 + 12 \cdot x_2, \quad (3.55)$$

и, наконец, найдем точки пересечения прямой с осями x_1 и x_2 (табл. 3.21).

Таблица 3.21

Определение параметров максимальной прибыли

Уравнение целевой функции	Пересечение с осью x_1	Пересечение с осью x_2
---------------------------	--------------------------	--------------------------

$156 = 13 \cdot x_1 + 12 \cdot x_2$	$x_1 = 12; x_2 = 0$	$x_1 = 0; x_2 = 13$
-------------------------------------	---------------------	---------------------

Нанесем это целевое уравнение на график аналогично ограничениям (рис. 3.32).

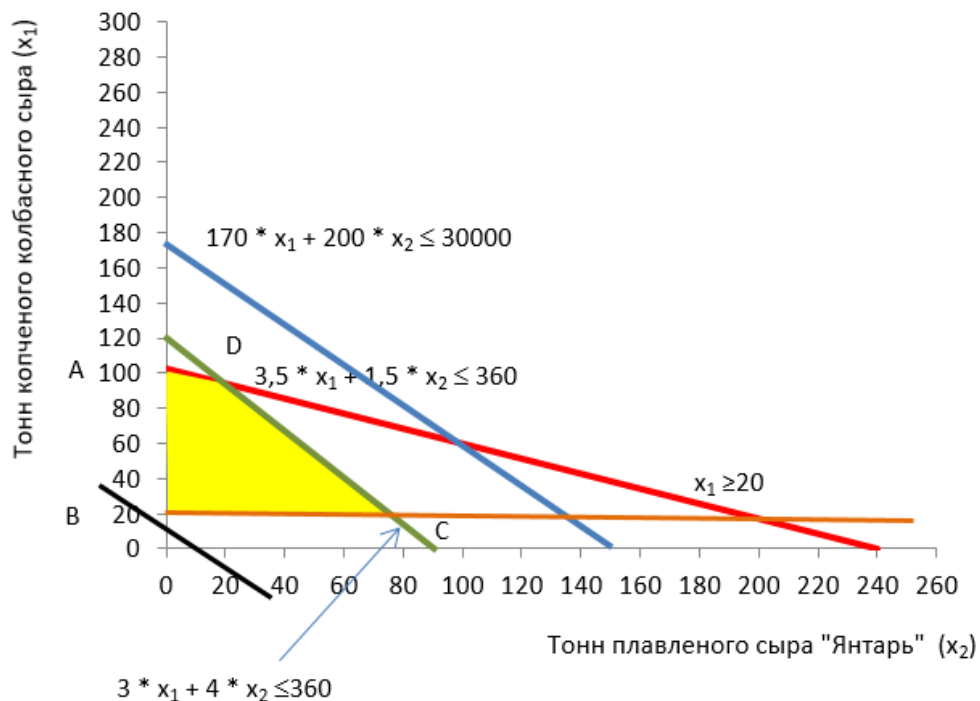


Рис. 3.32. Нанесение целевой функции (черная линия) на область допустимых решений

Значение Z постоянно на всем протяжении линии целевой функции. Чтобы найти значения x_1 и x_2 , которые максимизируют Z , нужно параллельно переносить линию целевой функции к такой точке в границах области допустимых решений, которая расположена на максимальном удалении от исходной линии целевой функции вверх и вправо, т. е. к точке C (рис. 3.33).

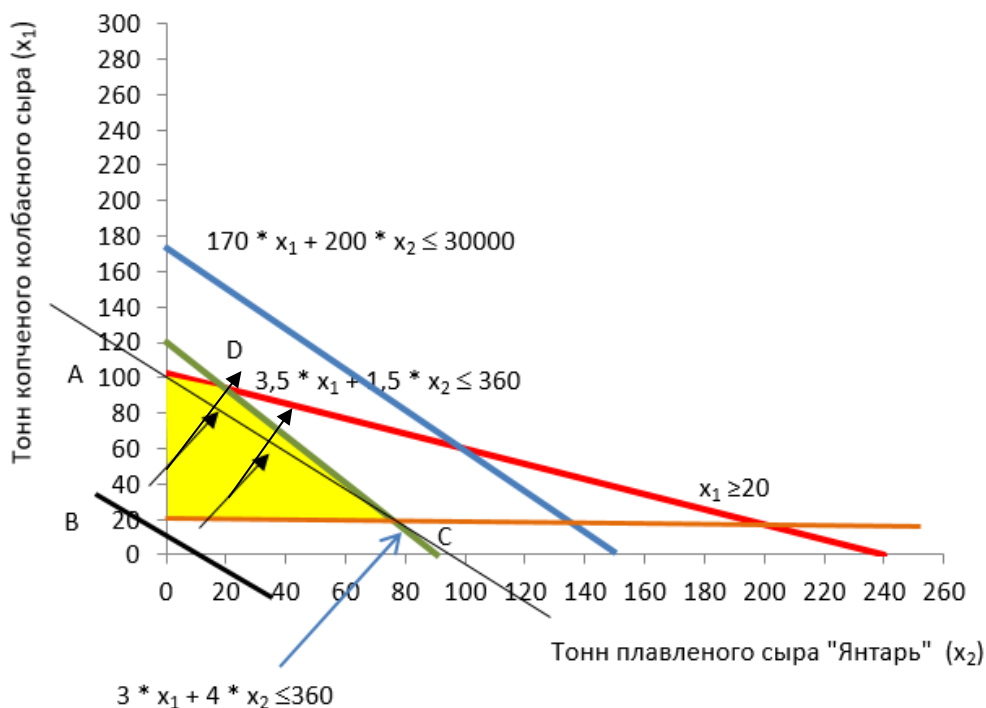


Рис. 3.33. Линия целевой функции (достигла максимума) в пределах области допустимых решений (в точке C)

Отсюда следует, что оптимальное решение будет находиться в одной из крайних точек области принятия решения. Для нахождения решения следует найти значения x_1 и x_2 в каждой из крайних точек путем считывания с диаграммы или путем решения соответствующей системы уравнений.

Оптимальным решением является то, при котором получена максимальная величина Z при решении задачи максимизации, и минимальная — при решении задачи минимизации.

Результаты расчета для всех вершин области допустимых решений приведены в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Значения функции оптимизации в крайних точках

Точка	Значение x_1	Значение x_2	$Z = 650 \cdot x_1 + 600 \cdot x_2$
A	102,9	0	66 885
B	20	0	13 000
C	20	75	58 000
D	94,7	19	74 710

Таким образом, план завода на следующий месяц выглядит так: произвести копченого колбасного сыра — 97,4 т; плавленого сыра «Янтарь» — 19 т. Это позволит получить максимальную прибыль в размере 74 710 руб.

3.15. Кейс «Выявление грубых ошибок с помощью MS Excel при измерении содержания влаги в проектируемом продукте»

Грубые ошибки (промахи) могут появиться из-за неисправности измерительных приборов или ошибок в эксперименте, сделанных из-за невнимательности исследователя или плохого знания метода анализа. Очень важно исключить из экспериментальных данных грубые ошибки, брак при повторных опытах.

Ситуация. При проектировании рецептуры нового продукта были сделаны многократные замеры массовой доли влаги. Для повышения точности эксперимента в каждом образце продукта измерения проводились в 24 повторностях. В результате был получен следующий ряд данных, описывающих массовую долю влаги в продукте (%): 25,15; 24,99; 25,19; 25,36; 25,26; 25,05; 25,13; 25,34; 25,38; 25,17; 25,07; 25,28; 25,32; 25,11; 25,03; 26,24; 25,30; 25,21; 25,01; 25,09; 29,38; 25,17; 25,07; 25,19. Требуется выявить среди результатов отдельных опытов грубую ошибку, чтобы исключить ее из дальнейшей статистической обработки.

Дорожная карта решения

Как известно, каждый эксперимент содержит элемент неопределенности вследствие ограниченности экспериментального материала. Поэтому опыт воспроизводится по возможности в одинаковых условиях несколько раз, и затем берется среднее арифметическое всех результатов.

Среднее арифметическое $\bar{y}$ равно сумме всех отдельных результатов измерений, деленной на количество параллельных опытов n :

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (3.56)$$

Отклонение результата опыта от среднего арифметического можно представить как разность $y_i - \bar{y}$, где y_i — результат отдельного опыта.

Наличие отклонения свидетельствует об изменчивости, вариации значений повторных опытов.

Для измерения этой изменчивости чаще всего используют дисперсию. Дисперсией называется среднее значение квадрата отклонений величины от ее среднего значения. Дисперсия обозначается S^2 и выражается формулой

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (3.57)$$

где $(n-1)$ — число степеней свободы, равное количеству опытов минус единица.

Корень квадратный из дисперсии называется квадратичной ошибкой:

$$\sigma = \sqrt{S^2}. \quad (3.58)$$

Чем больше значение σ , тем больше изменчивость признака исследуемого объекта. Выражается величина σ в тех же единицах измерения, что и средняя арифметическая.

Для выявления грубых ошибок используем критерий Стьюдента:

$$\frac{q_i - \bar{y}}{\sigma} \geq t, \quad (3.59)$$

где σ — квадратичная ошибка;

t — табличное значение критерия Стьюдента (см. табл. 3.7);

y_i — результат отдельного опыта;

$\bar{y}$ — среднеарифметическая величина измерения.

Опыт считается бракованным, если экспериментальное значение критерия t по модулю больше табличного значения.

При проведении опытов исследователи стремятся избежать грубых ошибок, но если они все же выявлены, то такие результаты эксперимента следует отбросить и по возможности повторить опыт в этой области значений.

Исходные данные и вышеприведенные формулы переносим на лист MS Excel (рис. 3.34). В результате получаем (рис. 3.35), что массовая доля влаги 29,38 % является грубой ошибкой измерения и не должна включаться в дальнейшие расчеты по эксперименту. Этот опыт надо переделать.

Первичная статистическая обработка экспериментальных данных включает, как минимум, расчет следующих *статистических величин*:

- 267

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид							
fx	Σ						
Вставить функцию	Автосумма	Последние	Финансовые	Логические	Текстовые	Дата и время	Ссылки и массивы
Библиотека функций							
I27							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Исходные данные	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	тэксп	табл	Вывод	
2	25,15	0,8042	0,6467	0,583597608	2,07	не ошибка	
3	24,99	0,6442	0,4150	0,467482851	2,07	не ошибка	
4	25,19	0,8442	0,7126	0,612626297	2,07	не ошибка	
5	25,36	1,0142	1,0285	0,735998227	2,07	не ошибка	
6	25,26	0,9142	0,8357	0,663426504	2,07	не ошибка	
7	25,05	0,7042	0,4959	0,511025885	2,07	не ошибка	
8	25,13	0,7842	0,6149	0,569083263	2,07	не ошибка	
9	25,34	0,9942	0,9884	0,721483882	2,07	не ошибка	
10	25,38	1,0342	1,0695	0,750512572	2,07	не ошибка	
11	25,17	0,8242	0,6793	0,598111953	2,07	не ошибка	
12	25,07	0,7242	0,5244	0,525540229	2,07	не ошибка	
13	25,28	0,9342	0,8727	0,677940848	2,07	не ошибка	
14	25,32	0,9742	0,9490	0,706969538	2,07	не ошибка	
15	25,11	0,7642	0,5840	0,554568919	2,07	не ошибка	
16	25,03	0,6842	0,4681	0,49651154	2,07	не ошибка	
17	26,24	1,8942	3,5879	1,374629392	2,07	не ошибка	
18	25,3	0,9542	0,9104	0,692455193	2,07	не ошибка	
19	25,21	0,8642	0,7468	0,627140642	2,07	не ошибка	
20	25,01	0,6642	0,4411	0,481997196	2,07	не ошибка	
21	25,09	0,7442	0,5538	0,540054574	2,07	не ошибка	
22	29,38	5,0342	25,3428	3,653381503	2,07	грубая ошибка	
23	25,17	0,8242	0,6793	0,598111953	2,07	не ошибка	
24	25,07	0,7242	0,5244	0,525540229	2,07	не ошибка	
25	24,3458						
26							
27		$S^2 =$	1,8987				
28		$\sigma =$	1,37794716				
29							

Рис. 3.35. Выявление бракованного опыта

Ошибка средней арифметической $\bar{x}$ из всех повторностей рассчитывается по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ при } n > 30 \text{ и } \bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \text{ при } n < 30, \quad (3.60)$$

где n — число повторностей измерений величины.

Ошибка средней арифметической выражается в тех же единицах измерения, как и средняя арифметическая, для которой она вычислена.

Величину средней арифметической и ее ошибку принято записывать так: $\bar{y} \pm x$.

Истинное значение измеряемой величины с заданной доверительной вероятностью P должно лежать в пределах доверительного интервала $\bar{y} \pm \varepsilon$.

Для определения доверительной ошибки используется критерий Стьюдента $t(P; f)$:

$$\varepsilon = t(P, f) \cdot x, \quad (3.61)$$

где ε — доверительная ошибка;

x — ошибка средней арифметической;

P — доверительная вероятность;

f — число степеней свободы: $f = n - 1$.

Рассмотрим, как автоматизировать первичную обработку экспериментальных данных в MS Excel.

Предполагается что мы проделали серию из 24 опытов, измеряя некоторую величину X (здесь не важно, что это — масса головки сыра или объем раствора). Номера опытов легко ввести протягиванием, а вот численные значения X надо последовательно ввести вручную. Записи в колонках Н и I — это подсказки, какие характеристики мы будем рассчитывать. Колонка J должна быть пустой, в нее будем помещать формулы.

Обработку результатов начнем с расчета числа опытов n . В ходе работы какой-то результат мы можем отбросить как грубую ошибку или провести еще несколько опытов. Нужно, чтобы не пришлось при этом переделывать все формулы. Для определения числа значений используется функция MS Excel, которая называется СЧЕТ.

Для ввода формулы с функциями используется кнопка на панели инструментов с обозначением f_x . Щелкнем мышкой по ячейке F6, где должен находиться результат, и нажмем эту кнопку.

Первый шаг работы (рис. 3.36) служит для выбора нужной функции. В списке категорий выбираем категорию «Статистические». В окне появляется упорядоченный по алфавиту список статистических функций. Находим функцию СЧЕТ («подсчитывает количество ячеек в диапазоне,

который содержит числа»). Выделив щелчком эту функцию, нажимаем кнопку ОК.

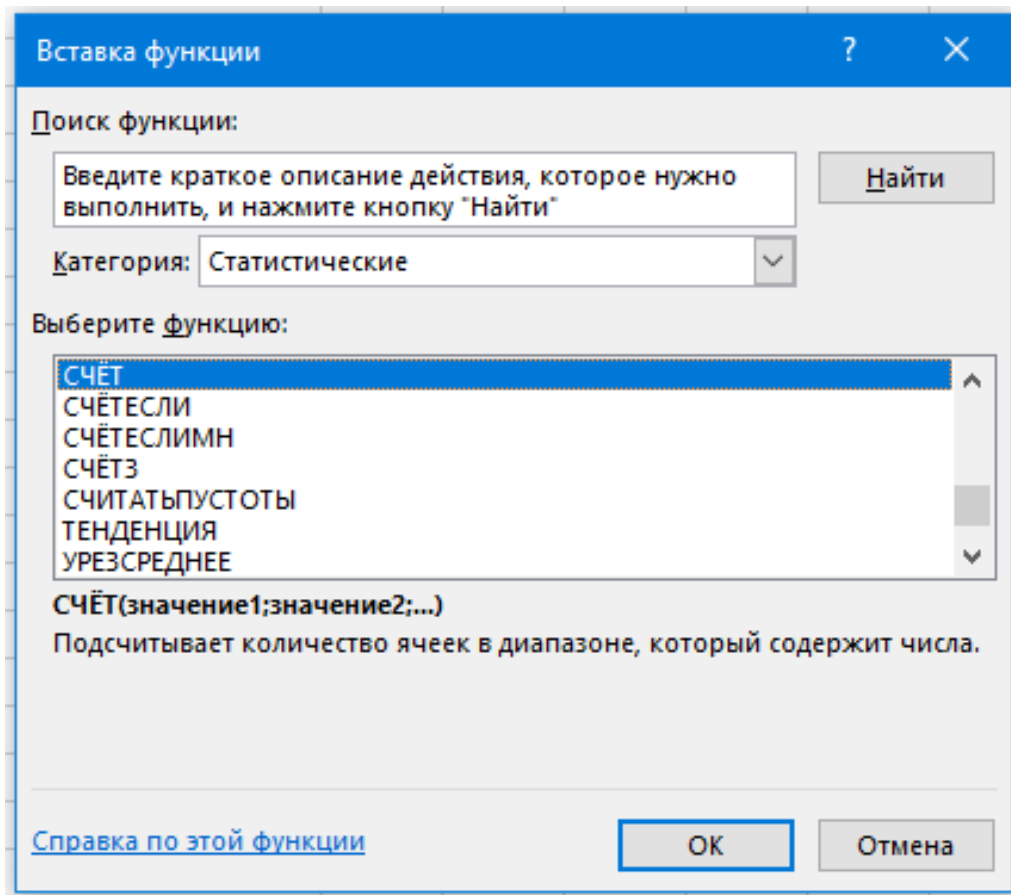


Рис. 3.36. Вставка функций в MS Excel

Функции СЧЕТ надо указать, какие числа ей надо пересчитывать или в каких ячейках находятся эти числа. Диапазон ячеек указывается адресами первой и последней ячеек, записанными через двоеточие, в нашем случае данные находятся в ячейках В3:В26. Эти адреса можно не вводить с клавиатуры, а показать мышкой. Нажимаем кнопку ОК (рис. 3.37). Если все сделано правильно, в ячейке J2 появится нужное значение «24».

Следующие функции для статистической обработки серии опытов проводятся аналогично. С помощью функции СРЗНАЧ рассчитывается среднее значение выборки, а стандартное отклонение выборки — с помощью функции СТАНДОТКЛОН.

Формула для расчета стандартного отклонения среднего частично набирается начиная с символа «=». Указав, где находится делимое,

и набрав знак операции деления, нажимаем кнопку f_x на панели инструментов. Функция КОРЕНЬ — математическая, поэтому выбираем категорию математических функций. Аргументом этой функции служит число опытов, которое мы рассчитали в ячейке J2.

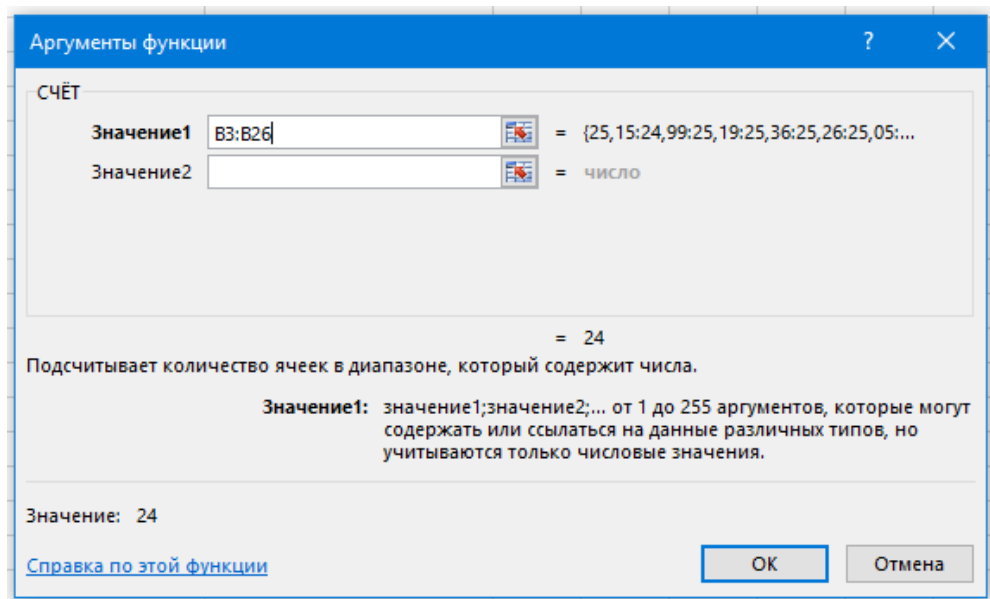


Рис. 3.37. Использование функции СЧЕТ

Для расчета доверительного интервала необходимо определить коэффициент Стьюдента. Он зависит от вероятности ошибки (при уровне доверительной вероятности 95 % вероятность ошибки составляет 5 %) и от числа степеней свободы ($n - 1$). Для нахождения коэффициента Стьюдента используется функция СТЬЮДРАСПОБР («Стьюдента распределение обратное»). Первый аргумент, число 5 % (или 0,05), вводится с клавиатуры. Для второго указываем адрес ячейки, где находится значение n , затем дописываем в окне «-1».

Для нахождения доверительного интервала используется формула умножения с адресами ячеек, где находятся коэффициент Стьюдента и стандартное отклонение среднего.

Таким образом, после отбраковки грубых ошибок в MS Excel можно легко провести первичную статистическую обработку экспериментальных данных (рис. 3.38, 3.39). Окончательный результат можно записать так: с 95%-ной надежностью $X = 25,22 \pm 0,11$.

В заключение посчитаем относительную ошибку определения X : $ДИ/X_{ср}$ (формула: «=J7/J3»). Значение относительной ошибки обычно выражают в процентах, в нашем случае 0,44 %.

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?										
Вставить Вырезать Буфер обмена Копировать Формат по образцу Шрифт Выравнивание Число Условное форматирование										
L33										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Данные эксперимента							Обработка		
2	№	X						Число значений, n	СЧЕТ	=СЧЕТ(B3:B22;B24:B26)
3	1	25,15						Среднее значение $X_{ср}$	СРЗНАЧ	=СРЗНАЧ(B3:B22;B24:B26)
4	2	24,99						Станд. отклонение S	СТАНДОТКЛОН	=СТАНДОТКЛОН(B3:B22;B24:B26)
5	3	25,19						Ст. откл. Среднего Scp	=S / КОРЕНЬ(n-1)	=J4/КОРЕНЬ(J2-1)
6	4	25,36						К.Стьюд (5%, n-1) t	СТЮДРАСПОБР	=СТЮДРАСПОБР(0,05;J2-1)
7	5	25,26						Доверит. интервал ДИ	=t*Scp	=J5*J6
8	6	25,05						Относит. ошибка δ	=ДИ/ $X_{ср}$	=J7/J3
9	7	25,13						Окончательный результа		X= 25,22±0,11
10	8	25,34								
11	9	25,38								
12	10	25,17								
13	11	25,07								
14	12	25,28								
15	13	25,32								
16	14	25,11								
17	15	25,03								
18	16	26,24								
19	17	25,3								
20	18	25,21								
21	19	25,01								
22	20	25,09								
23	21	29,38								
24	22	25,17								
25	23	25,07								
26	24	25,07								
27										
28										
29	Опыт № 21 является грубой ошибкой									
30										

Рис. 3.38. Формулы для первичной статистической обработки

Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы										
Шрифт Выравнивание										
	F	G	H	I	J					
			Обработка							
			Число значений, n	СЧЕТ	23					
			Среднее значение $X_{ср}$	СРЗНАЧ	25,21695652					
			Станд. отклонение S	СТАНДОТКЛОН	0,252162191					
			Ст. откл. среднего Scp	=S / КОРЕНЬ(n-1)	0,05376116					
			К.Стьюд (5%, n-1) t	СТЮДРАСПОБР	2,073873068					
			Доверит. интервал ДИ	=t*Scp	0,111493821					
			Относит. ошибка δ	=ДИ/ $X_{ср}$	0,004421383					
			Окончательный результат		X= 25,22±0,11					

Рис. 3.39. Первичные статистические данные опыта по измерению массовой доли влаги в проектируемом продукте

3.16. Кейс «Составление с помощью MS Excel детерминированной математической модели на примере задачи оптимизации производственной программы»

Производственную программу необходимо оптимизировать с целью получения максимальной прибыли в планируемый период. Молзавод может выпускать n видов продукции $i = \overline{1, 2, \dots, n}$. Для этого используется m видов сырья $j = \overline{1, 2, \dots, m}$. Объем производства продукции, номенклатурный состав, объем потребляемого сырья можно варьировать, однако имеются ограничения, связанные с ограниченностью спроса и дефицитом всех или некоторых видов сырья.

Целью оптимизации является получение максимальной прибыли:
 $\Pi \rightarrow \max$.

Внутренние переменные: x_i — объем производства i -й продукции; y_j — объем потребления j -го вида сырья. Среди этих переменных объемы производства являются независимыми, т. е. управляемыми переменными, а объемы потребления сырья — зависимыми от них.

Ограничения: $x_i^{\min}; x_i^{\max}$ — нижние и верхние границы объема производства i -й молочной продукции; b_j — запасы сырья.

Известные величины:

a_{ij} — удельный расход i -го вида сырья на единицу j -й молочной продукции;

q_j — цена единицы сырья;

p_i — цена единицы молочной продукции;

c_i — себестоимость изготовления и реализации единицы i -й продукции без учета стоимости сырья.

Математическая модель задачи поиска оптимальной производственной программы имеет следующий вид.

Целевая функция — прибыль от выпуска и реализации молочной продукции:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n p_i x_i - \sum_{i=1}^n c_i x_i - \sum_{j=1}^m q_j y_j = \sum_{i=1}^n (p_i - c_i) x_i - \sum_{j=1}^m q_j y_j \rightarrow \max. \quad (3.62)$$

Ограничения:

1) по объему выпуска продукции:

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max} \quad i = \overline{1, 2, \dots, n}; \quad (3.63)$$

2) по объему потребления ресурсов:

$$y_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j \quad j = \overline{1, 2, \dots, m}. \quad (3.64)$$

Ситуация. Молзавод выпускает питьевое молоко, йогурт и сметану, используя взаимозаменяемые виды сырья. Количество некоторых из них, а также фонд рабочего времени ограничены. Объемы производства также ограничены (снизу — требованиями технологии, сверху — величиной спроса). Требуется найти оптимальную производственную программу. Математическая модель такой задачи имеет вид, описанный выше в этом кейсе. Исходные данные из этой модели заносятся в таблицу Excel (табл. 3.23).

Дорожная карта решения

Формулы, входящие в модель, приведены в табл. 3.23, расположение переменных по ячейкам показано в табл. 3.24.

Таблица 3.23

	A	B	C	D	E	F	G
1	Наименование молочной продукции				<i>Питьевое молоко</i>	<i>Йогурт</i>	<i>Сметана</i>
2	Минимальный объем производства, т				20	20	0
3	Объем производства, т				20	450	0
4	Максимальный объем производства				200	1000	1000
5	<i>Наименование ресурса</i>	<i>Цена</i>	<i>Запас</i>	<i>Суммарный расход</i>	Удельные расходы сырья		
6	Фонд рабочего времени	0	10000	10000	50	20	20
7	Молоко-сырье	300	1000	470	1	1	0
8	Закваска	50		40	2	0	4
9	Сливки	50		470	1	1	1
10	Обезжиренное молоко	50	500	490	2	1	1
11	Цена единицы молочной продукции				1100	700	400
12	Себестоимость единицы молочной продукции (без ресурсов)				500	250	100
13	Стоим. сырья	191 000		Прибыль:	23 500		

Таблица 3.24

Ячейка	Формула
B13	=СУММПРОИЗВ(B6:B10;D6:D10)
E13	=(E11-E12)*E3+(F11-F12)*F3+(G11-G12)*G3-B13
D6	=E6*E\$3+F6*F\$3+G6*G\$3
D7	=E7*E\$3+F7*F\$3+G7*G\$3
D8	=E8*E\$3+F8*F\$3+G8*G\$3
D9	=E9*E\$3+F9*F\$3+G9*G\$3
D10	=E10*E\$3+F10*F\$3+G10*G\$3

Целевой ячейкой служит ячейка E13, управляемые переменные — E3–G3, ограничения сформированы ячейками D6, D7, D10, E3–G3 и C6, C7, C10, E2–G2, E4–G4.

Согласно проведенному расчету оптимальным планом является выпуск 20 т питьевого молока и 450 т йогурта, что даст наибольшую прибыль в 23 500 руб. Все численные результаты расчета приведены в табл. 3.25.

Таблица 3.25

Результаты расчета

Переменная	П	x_i	y_j	$x_i^{\min}$	$x_i^{\max}$	b_j	a_{ij}	q_j	p_i	c_i
Ячейка	E13	E3-G3	D6-D10	E2-G2	E4-G4	C6-C10	E6-G10	B6-B10	E11-G11	E12-G12

3.17. Кейс «Оптимизация рецептуры пломбира с заданным составом с помощью инструмента «Поиск решения» MS Excel»

Ситуация. Необходимо спроектировать рецептуру 100 кг смеси мороженого с минимальной себестоимостью, причем массовая доля жира в смеси должна быть не менее 15 %, СОМО — 9,0 %, сахара — 15 %. Критерий оптимизации рецептуры пломбира — минимальная стоимость смеси без потери в качестве готового продукта.

Дорожная карта решения

На рабочем листе MS Excel формируем таблицу (рис. 3.40), где приведены оптовые цены и состав ингредиентов, используемых для составления рецептуры, а также исходная рецептура, которую необходимо оптимизировать.

В ячейке C15 вычисляем суммарную массу всех компонентов смеси мороженого по следующей формуле: =СУММ(C4:C14).

С учетом добавления 0,5 % стабилизатора и 0,01 % ванилина массовая доля воды в смеси мороженого составит:

$$H15 = 100 - D15 - F15 - G15 - 0,01 - 0,5.$$

В строке 17 осуществляем ввод балансовых уравнений, в ячейках с D17 по H17 вычисляют массовые доли жира, белка, СОМО, сахара и воды в 100 кг мороженого. Например, формула в ячейке E17 будет следующая:

$$= \text{СУММПРОИЗВ}(\$C\$4:\$C\$12;E4:E12)/100.$$

Аналогичным образом вносим подобную формулу в ячейки D17, F17, G17, H 17, I17.

В ячейке R16 вычисляют себестоимость 100 кг смеси мороженого как сумму произведений массы отдельного вида сырья на его цену. Формула в ячейке будет иметь вид:

$$= \text{СУММПРОИЗВ}(\$C\$4:\$C\$14; \$R\$4:\$R\$14).$$

Файл			Главная		Вставка		Разметка страницы		Формулы		Данные		Рецензирование		Вид		Что												
Получение внешних данных										Скачать & преобразовать										Подключения									
J27																													

Рис. 3.40. Информационная матрица данных для составления рецептуры смеси мороженого — пломбир 15 %

В строке «Параметры смеси» (строка 15) указываем нормативные показатели мороженого, содержание жира, белка, СОМО, сахара, воды, энергетической ценности.

После ввода исходной таблицы и записи формул запускают инструмент «Поиск решений» Microsoft Excel (Меню → Данные → Поиск решений). Устанавливаем ячейку целевой функции (стоимость) равной минимальному значению. Выбираем изменяющиеся ячейки — это ячейки, содержащие массы отдельных видов сырья (C4:C12). Затем добавляем ограничения:

- все ячейки, содержащие массы отдельных видов ингредиентов, должны быть больше или равны нулю ($C4:C12 \geq 0$);

- массовые доли жира, белка, СОМО, сахара и воды в 100 кг готового мороженого должны быть равны соответствующим ячейкам в строке «Параметры смеси» ($D15:I15 = D17:I17$);

- задаем ограничение, что количество натурального молока должно быть больше или равно 50 кг ($\$C\$4 \geq 50$).

После ввода всех параметров и ограничений нажимаем кнопку «Выполнить» в окне «Поиск решений». В результате получаем рецептуру мороженого (рис. 3.41) с себестоимостью 4 316,82 руб. за 100 кг продукта.

После того как оптимальное решение для проектируемого продукта найдено с помощью MS Excel, его можно сохранить. Для этого в появившемся диалоговом окне в графе «Тип отчета» выбираем «Результаты» и нажимаем ОК. Полученный результат сохранится в виде отдельного листа «Отчет по результатам 1» (рис. 3.42). При этом полученное значение сравнивается с исходным.

После оптимизации смеси мороженого пломбир 15 % получаем продукт с заданным составом и по минимальной себестоимости. Получена экономия 890,23 руб. с тонны смеси для изготовления пломбира, при этом состав продукта полностью соответствует заранее заданным характеристикам.

Отчет создан: 03.06.2020 13:30:52

Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения лин. задач симплекс-методом

Время решения: 0,016 секунд.

Число итераций: 6 Число подзадач: 0

Параметры поиска решения

Максимальное время 100 с, Число итераций 100, Precision 0,000001

Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов, Целочисленное отклонение 5%, Решение без целочисленных ограничений

Ячейка целевой функции (Минимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$J\$16	функция цели, руб Стоимсть, руб./кг	5207,05	4316,82

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$C\$4	x1 масса,кг	50,00	50,00	Продолжить
\$C\$5	x2 масса,кг	0,00	15,89	Продолжить
\$C\$6	x3 масса,кг	4,80	0,00	Продолжить
\$C\$7	x4 масса,кг	7,10	1,48	Продолжить
\$C\$8	x5 масса,кг	22,91	0,00	Продолжить
\$C\$9	x6 масса,кг	0,00	4,77	Продолжить
\$C\$10	x7 масса,кг	5,04	15,00	Продолжить
\$C\$11	x8 масса,кг	6,33	1,73	Продолжить
\$C\$12	x10 масса,кг	3,83	11,14	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$C\$17	ввод балансовых уравнений масса,кг	100,00	\$C\$17=100	Привязка	0
\$D\$17	ввод балансовых уравнений жир	15,00	\$D\$17=\$D\$15	Привязка	0
\$E\$17	ввод балансовых уравнений белок	3,70	\$E\$17=\$E\$15	Привязка	0
\$F\$17	ввод балансовых уравнений сомо	9,00	\$F\$17=\$F\$15	Привязка	0
\$G\$17	ввод балансовых уравнений сахар	15,00	\$G\$17=\$G\$15	Привязка	0
\$H\$17	ввод балансовых уравнений вода	60,49	\$H\$17=\$H\$15	Привязка	0
\$C\$4	x1 масса,кг	50,00	\$C\$4>=50	Привязка	0,00
\$C\$4	x1 масса,кг	50,00	\$C\$4>=0	Привязка	0,00
\$C\$5	x2 масса,кг	15,89	\$C\$5>=0	Без привязки	15,89
\$C\$6	x3 масса,кг	0,00	\$C\$6>=0	Привязка	0,00
\$C\$7	x4 масса,кг	1,48	\$C\$7>=0	Без привязки	1,48
\$C\$8	x5 масса,кг	0,00	\$C\$8>=0	Привязка	0,00
\$C\$9	x6 масса,кг	4,77	\$C\$9>=0	Без привязки	4,77
\$C\$10	x7 масса,кг	15,00	\$C\$10>=0	Без привязки	15,00
\$C\$11	x8 масса,кг	1,73	\$C\$11>=0	Без привязки	1,73
\$C\$12	x10 масса,кг	11,14	\$C\$12>=0	Без привязки	11,14

Рис. 3.42. Отчет по результатам решения оптимизационной задачи

3.18. Кейс «Установление с помощью MS Excel доверительных интервалов для математического ожидания на примере батончика, обогащенного пищевыми волокнами»

Ситуация. При разработке усовершенствованной рецептуры батончика решено обогатить его состав пищевыми волокнами из расчета, чтобы 100 г батончика удовлетворяли потребность человека в пищевых волокнах на 15 % от суточной нормы. Было взято 8 проб, и получены следующие результаты содержания пищевых волокон в 100 г батончика: 1,8; 1,8; 1,9; 2,5; 2,2; 2,8; 2,6; 2,4.

Необходимо определить среднюю величину содержания пищевых волокон в пробе, стандартное отклонение средней величины от единичных

измерений и установить доверительные границы (доверительный интервал), в пределах которых с вероятностью $P = 0,95$ находится среднее значение X , и, таким образом, выявить, соответствует ли требованиям по содержанию пищевых волокон проектируемый батончик.

Дорожная карта решения

Решение приведено для малого объема выборки. Малым считается объем выборки до 30.

1. Вычислим среднее значение $X_{\text{ср}}$ из n единичных измерений X_i (среднее арифметическое):

$$X_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3.65)$$

2. Составим вспомогательную таблицу в MS Excel (рис. 3.43).

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср}})^2} = \sqrt{\frac{1}{8-1} 1,04} = 0,38. \quad (3.66)$$

3. Определяем возможное отклонение ε среднего значения $X_{\text{ср}}$ в зависимости от принятой доверительной вероятности P и числа единичных измерений n по формуле

$$\varepsilon = \frac{s \cdot t}{\sqrt{n-1}} = \frac{0,38 \cdot 2,37}{\sqrt{8-1}} = 0,34, \quad (3.67)$$

где t — табличный коэффициент Стьюдента.

4. Рассчитываем стандартное отклонение (среднеквадратичное отклонение).

Для пищевых продуктов достаточна 95 %-ная вероятность нахождения результата анализа в доверительном интервале ($X_{\text{ср}} \pm \varepsilon$).

5. Устанавливаем доверительные границы X_1 , и X_2 , в пределах которых находится $X_{\text{ср}}$:

$$X_1 = X_{\text{ср}} - \varepsilon = 2,25 - 0,34 = 1,91;$$

$$X_2 = X_{\text{ср}} + \varepsilon = 2,25 + 0,34 = 2,59.$$

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирова				
Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена Шрифт Calibri 11 A⁺ A⁻ Ж К Ч Г Г Вывести Вывести Вывести Выравни				
E21 ✕ ✓ fx				
	A	B	C	D
1	№ п/п	Результат единичного измерения X_i	$(X_i - X_{ср})$	$(X_i - X_{ср})^2$
2	1	1,8	=B2-\$B\$11	=C2^2
3	2	1,8	=B3-\$B\$11	=C3^2
4	3	1,9	=B4-\$B\$11	=C4^2
5	4	2,5	=B5-\$B\$11	=C5^2
6	5	2,2	=B6-\$B\$11	=C6^2
7	6	2,8	=B7-\$B\$11	=C7^2
8	7	2,6	=B8-\$B\$11	=C8^2
9	8	2,4	=B9-\$B\$11	=C9^2
10	Сумма	=СУММ(B2:B9)	=СУММ(C2:C9)	=СУММ(D2:D9)
11	Среднее значение $X_{ср}$	=СРЗНАЧ(B2:B9)		
12				

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование					
Вставить		Буфер обмена		Шрифт	
Вырезать Копировать Формат по образцу		Calibri 11 A ⁺ A ⁻ Ж К Ч Г Г		Выравнивание	
D28		✕ ✓ fx			
	A	B	C	D	E
	№ п/п	Результат единичного измерения X_i	$(X_i - X_{ср})$	$(X_i - X_{ср})^2$	
1					
2	1	1,8	-0,45	0,2025	
3	2	1,8	-0,45	0,2025	
4	3	1,9	-0,35	0,1225	
5	4	2,5	0,25	0,0625	
6	5	2,2	-0,05	0,0025	
7	6	2,8	0,55	0,3025	
8	7	2,6	0,35	0,1225	
9	8	2,4	0,15	0,0225	
10	Сумма	18	0	1,04	
11	Среднее значение $X_{ср}$	2,25			
12					

Рис. 3.43. Расчеты в MS Excel

Таким образом, проектируемый батончик имеет среднее содержание пищевых волокон в 100 граммах в пределах 1,91–2,59 г, что не покрывает суточную потребность в пищевых волокнах на 15 % и не соответствует цели совершенствования рецептуры. Следовательно, рецептуру нужно дорабатывать.

3.19. Кейс «Установление с помощью MS Excel корреляционной зависимости свойств проектируемого продукта на примере витаминизированного киселя»

В задачу статистического анализа входит выявление величины и *типа корреляционной связи*.

Коэффициент корреляции R измеряет связь между варьирующими признаками X и Y и находится в пределах ± 1 . При R , близком к нулю, корреляционная связь отсутствует, при $R = 0,7 - 0,99$ связь считается сильной. Знак плюс означает, что связь между X и Y прямая (положительная), минус — связь обратная (отрицательная).

Коэффициент корреляции выявляет величину и направление связи лишь тогда, когда связь между признаками *близка к прямолинейной*. Поэтому прежде чем оценивать R , следует установить, какой тип связи может быть между X и Y : близкий к прямолинейной или сильно выраженный криволинейный. Это устанавливается при изучении научно-технической литературы либо графическим путем — нанесением полученных экспериментальным путем данных на рисунок.

Ситуация. Спроектирована рецептура киселя, обогащенного витамином С. Как известно, при термической обработке витамин С разрушается. Содержание витамина С (мг): 90; 80; 75; 64; 59; 51, и длительность варки (мин): 1, 3, 6, 9, 12, 15. Необходимо установить математическую зависимость содержания витамина С от длительности варки киселя.

Дорожная карта решения

Построим с помощью MS Excel график с экспериментальными точками (рис. 3.44).

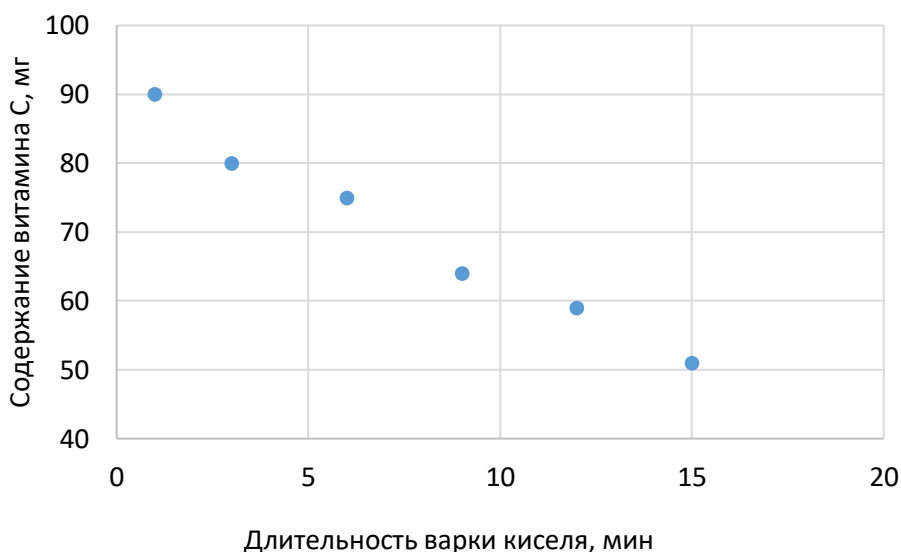


Рис. 3.44. Изменение содержание витамина С при варке киселя

По расположению точек видно, что связь между x и y близка к прямолинейной и может быть выражена уравнением вида $y = ax + b$.

Добавляем на график в MS Excel линию тренда и величину достоверности аппроксимации R^2 (рис. 3.45). Линия тренда показывает усредненную динамику изменения содержания витамина С в киселе в зависимости от длительности варки.

Математическая зависимость содержания витамина С от длительности варки киселя может быть описана уравнением вида $y = -2,67 \cdot x + 90,34$. Причем это уравнение действительно при значениях $1 \leq x \leq 15$.

Коэффициент корреляции, показывающий тесноту связи между указанными величинами, равен 0,99. По табл. 3.26 определяем, что теснота связи весьма высокая.

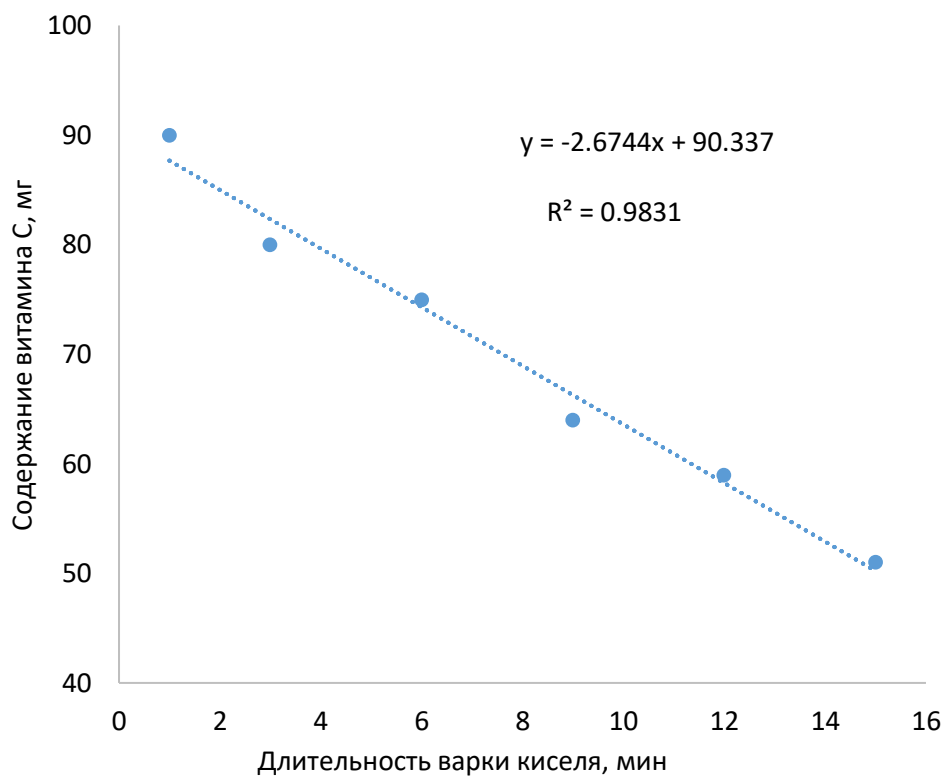


Рис. 3.45. График с линией тренда и достоверностью аппроксимации

Таблица 3.26

Зависимость между коэффициентом корреляции и теснотой связи

Величина коэффициента корреляции	Теснота связи
0,11–0,30	слабая
0,30–0,50	умеренная
0,50–0,70	заметная
0,70–0,90	высокая
0,90–0,99	весьма высокая

3.20. Кейс «Реализация метода наименьших квадратов с помощью MS Excel и PTC MathCAD на примере биточков из рыбного фарша»

Метод наименьших квадратов позволяет строить зависимости вида $y = f(x)$, линейные по параметрам или допускающие приведение к линейному виду (линеаризацию).

Предположим, имеется ряд значений функции отклика y_i , полученных при фиксированных значениях независимой переменной x_i . Изобразим эти пары наблюдений в виде точек на плоскости (рис. 3.46). Задача метода наименьших квадратов состоит в том, чтобы, зная положение точек 1–3 на плоскости, так провести линию регрессии, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных значений y_i от расчетных значений y^p_i вдоль оси y была минимальной. При этом уравнение прямой, проходящей между точками 1–3, имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x, \quad (3.68)$$

где b_0, b_1 — коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad (3.69)$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (3.70)$$

Коэффициенты уравнения регрессии должны минимизировать сумму квадратов отклонений расчетных значений функции отклика от экспериментальных.

Адекватность полученного уравнения регрессии оценивают с помощью критерия Фишера, который вычисляют по формуле

$$F_p = \frac{\max(S_y^2; S_{\text{ост}}^2)}{\min(S_y^2; S_{\text{ост}}^2)}, \quad (3.71)$$

где S_y^2 — оценка дисперсии относительно среднего;

$S_{\text{ост}}^2$ — оценка остаточной дисперсии.

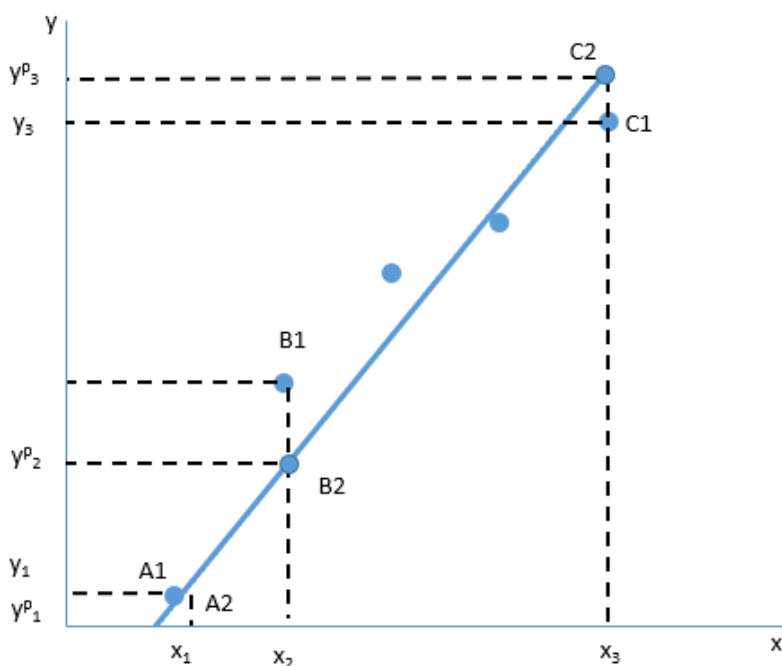


Рис. 3.46. Пояснение сути метода наименьших квадратов

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n-1}; \quad (3.72)$$

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}{n-2}. \quad (3.73)$$

Уравнение регрессии адекватно описывает результаты эксперимента, если выполняется условие

$$F_p > F_T, \quad (3.74)$$

где F_T — табличное значение критерия Фишера (табл. 3.27) для принятого уровня значимости p и числа степеней свободы числителя f_1 и знаменателя f_2 .

Таблица 3.27

Значения критерия Фишера для уровня значимости $p = 0,05$

f_2	f_1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88	245,95
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,43
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,70
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,86
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,72
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,62
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,53
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,46
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,40
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,35
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,31
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,27
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,23
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20

Примечание. f_1 — число степеней свободы большей дисперсии; f_2 — число степеней свободы меньшей дисперсии.

Ситуация. Спроектирована рецептура рыбного фарша с добавлением льняной муки. Требуется, используя метод наименьших квадратов, построить математическую модель, отражающую зависимость адгезионной прочности биточков из рыбного фарша y (кПа) от количества внесенной льняной муки x (г на кг фарша).

Данные измерений сведены в табл. 3.28.

Таблица 3.28

Данные измерений

Показатель	Значение							
x , г	0	30	60	90	120	150	180	210
y , кПа	4,3	5,8	7,1	9,2	9,5	11,0	13,4	14,9

Дорожная карта решения

Произведем обработку результатов по методу наименьших квадратов с помощью MS Excel (рис. 3.47).

Рассчитаем коэффициенты уравнения регрессии b_0 , b_1 :

$$b_0 = \frac{126\,000 \cdot 75,2 - 9\,759 \cdot 840}{8 \cdot 126\,000 - 840 \cdot 840} = 4,225;$$

$$b_1 = \frac{8 \cdot 9\,759 - 840 \cdot 75,2}{8 \cdot 126\,000 - 840 \cdot 840} = 0,049.$$

Таким образом, математическая модель, полученная по результатам эксперимента методом наименьших квадратов в MS Excel, будет иметь вид:

$$y = 4,225 + 0,049 \cdot x.$$

Определим коэффициент корреляции, на этот раз без построения графика, а с помощью формул MS Excel (рис. 3.48). Также рассчитаем ошибку прогнозирования (%).

Коэффициент корреляции, показывающий тесноту связи между указанными величинами, равен 0,99, следовательно, теснота связи между количеством льняной муки и адгезионной прочностью биточков из рыбного фарша весьма высокая.

Ошибка прогнозирования составляет 3,41 %.

Чтобы оценить адекватность полученного уравнения регрессии, рассчитаем с помощью MS Excel оценку дисперсии относительно среднего и оценку остаточной дисперсии (рис. 3.49).

Оценки дисперсий будут равны:

$$S_y^2 = \frac{800 - \frac{1}{8} 75,2 \cdot 75,2}{8 - 1} = 13,3;$$

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1,311}{8 - 2} = 0,219.$$

Что вы хотите сделать?						
Присвоить имя	Влияющие ячейки	Показать формулы	Окно контрольного значения	Параметры вычислений	Пересчитать	Проверить
Использовать в формуле	Зависимые ячейки	Проверка наличия ошибок				
Создать из выделенного	Убрать стрелки	Вычислить формулу				
Определенные имена	Зависимости формул					Вычислить

Y	Z	AA	AB	AC	AD
№ опыта	X_i	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	0	4,3	=Z2*AA2	=Z2^2	=AA2^2
2	30	5,8	=Z3*AA3	=Z3^2	=AA3^2
3	60	7,1	=Z4*AA4	=Z4^2	=AA4^2
4	90	9,2	=Z5*AA5	=Z5^2	=AA5^2
5	120	9,5	=Z6*AA6	=Z6^2	=AA6^2
6	150	11	=Z7*AA7	=Z7^2	=AA7^2
7	180	13,4	=Z8*AA8	=Z8^2	=AA8^2
8	210	14,9	=Z9*AA9	=Z9^2	=AA9^2
сумма	=СУММ(Z2:Z9)	=СУММ(AA2:AA9)	=СУММ(AB2:AB9)	=СУММ(AC2:AC9)	=СУММ(AD2:AD9)

Формулы	Данные	Рецензирование	Вид	Что вы хотите сделать?
Текстовые	Дата и время	Ссылки и массивы	Математические	Другие функции
Диспетчер имен	Использовать	Создать из вы	Определенные им	

X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
	№ опыта	X_i	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2	Y_i^2	
	1	0	4,3	0	0	18,49	
	2	30	5,8	174	900	33,64	
	3	60	7,1	426	3600	50,41	
	4	90	9,2	828	8100	84,64	
	5	120	9,5	1140	14400	90,25	
	6	150	11	1650	22500	121	
	7	180	13,4	2412	32400	179,56	
	8	210	14,9	3129	44100	222,01	
	сумма	840	75,2	9759	126000	800	

Рис. 3.47. Обработка по методу наименьших квадратов в MS Excel для биточков из рыбного фарша с льняной мукой (формулы и результаты расчета)

Критерий Корреляции

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Что вы хотите сделать?

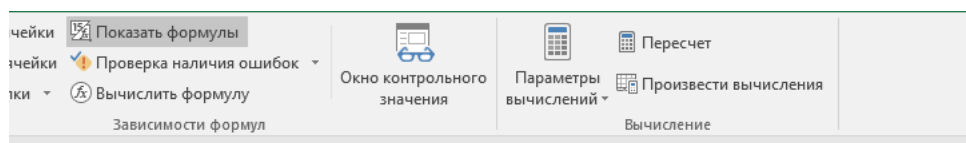
Вырезать Копировать Вставить Формат по образцу

Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

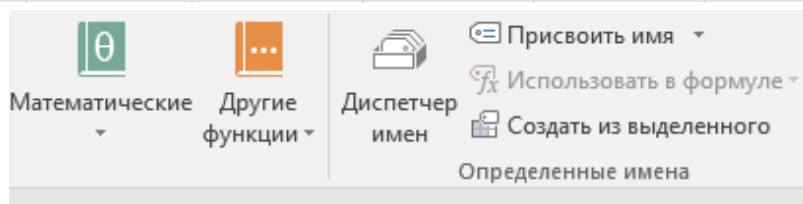
Арифметический

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	№	Y_i	Y_i^P	$Y_i - Y_i^P$	$(Y_i - Y_i^P)^2$	$(Y_i - Y_i^P) / Y_i$	Y_i -Среднее	$(Y_i$ -Среднее) ²
2	1	4,300	4,230	0,070	0,005	0,016	-5,100	26,010
3	2	5,800	5,700	0,100	0,010	0,017	-3,600	12,960
4	3	7,100	7,170	-0,070	0,005	0,010	-2,300	5,290
5	4	9,200	8,640	0,560	0,314	0,061	-0,200	0,040
6	5	9,500	10,110	-0,610	0,372	0,064	0,100	0,010
7	6	11,000	11,580	-0,580	0,336	0,053	1,600	2,560
8	7	13,400	13,050	0,350	0,123	0,026	4,000	16,000
9	8	14,900	14,520	0,380	0,144	0,026	5,500	30,250
10	Сумма	75,2	75,00	0,20	1,3088	0,27281		93,120
11								
12			Ошибка прогнозирования, %			3,41		
13	Среднее =	9,400	Коэфф корреляции			0,993		

290



AF	AG	AH	AI	AJ	AK
№ опыта	X_i	Y_i	Y_i^p	$Y_i - Y_i^p$	$(Y_i - Y_i^p)^2$
1	0	4,3	=4,225+0,049*AG2	=AH2-AI2	=AJ2^2
2	30	5,8	=4,225+0,049*AG3	=AH3-AI3	=AJ3^2
3	60	7,1	=4,225+0,049*AG4	=AH4-AI4	=AJ4^2
4	90	9,2	=4,225+0,049*AG5	=AH5-AI5	=AJ5^2
5	120	9,5	=4,225+0,049*AG6	=AH6-AI6	=AJ6^2
6	150	11	=4,225+0,049*AG7	=AH7-AI7	=AJ7^2
7	180	13,4	=4,225+0,049*AG8	=AH8-AI8	=AJ8^2
8	210	14,9	=4,225+0,049*AG9	=AH9-AI9	=AJ9^2
сумма	=СУММ(AG2:AG9)	=СУММ(AH2:AH9)	=СУММ(AI2:AI9)	=СУММ(AJ2:AJ9)	=СУММ(AK2:AK9)



AF	AG	AH	AI	AJ	AK
№ опыта	X_i	Y_i	Y_i^p	$Y_i - Y_i^p$	$(Y_i - Y_i^p)^2$
1	0	4,3	4,23	0,08	0,01
2	30	5,8	5,70	0,11	0,01
3	60	7,1	7,17	-0,06	0,00
4	90	9,2	8,64	0,57	0,32
5	120	9,5	10,11	-0,61	0,37
6	150	11	11,58	-0,57	0,33
7	180	13,4	13,05	0,36	0,13
8	210	14,9	14,52	0,39	0,15
сумма	840	75,2	74,96	0,24	1,311

Рис. 3.49. Расчеты в MS Excel оценок дисперсий для биточков из рыбного фарша с льняной мукой (формулы и результаты расчета)

Вычисляем критерий Фишера:

$$F_p = \frac{13,3}{0,219} = 60,73.$$

Находим табличное значение критерия Фишера F_T . Для уровня значимости $p = 0,05$, числа степеней свободы числителя $f_1 = 7(n-1)$ и знаменателя $f_2 = 6$ (разница n и числа значимых коэффициентов в уравнении регрессии) получаем $F_T = 4,21$.

$$60,73 > 4,21.$$

Следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно.

График, полученный по модели о биточках из рыбного фарша с льняной мукой с нанесением экспериментальных и расчетных точек приведен на рис. 3.50.

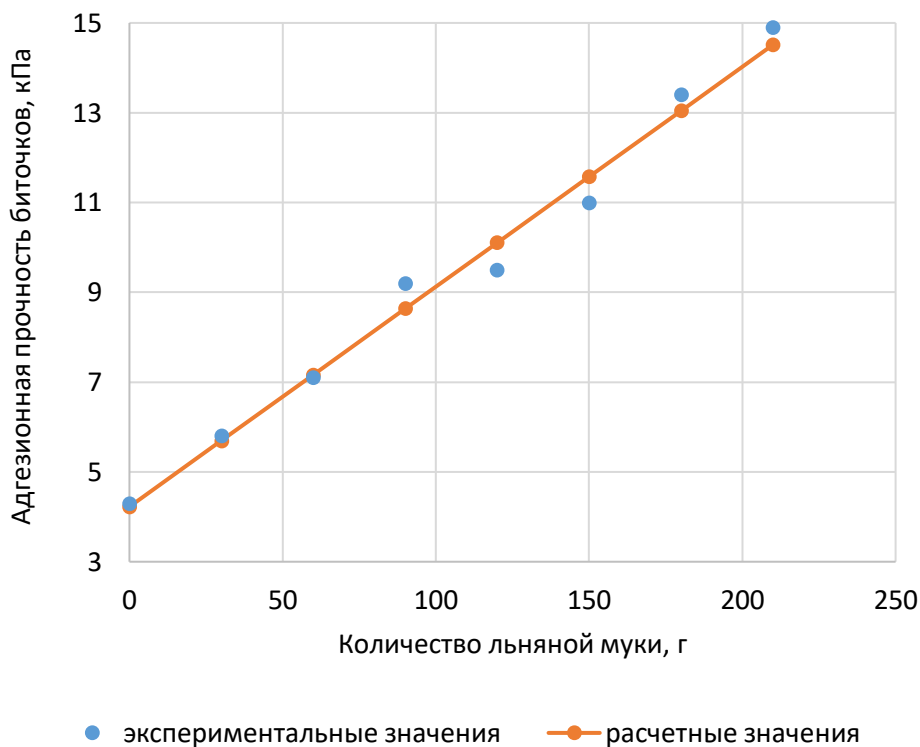


Рис. 3.50. График, полученный в MS Excel по модели о биточках из рыбного фарша с льняной мукой

Рассмотрим решение этой же задачи с помощью PTC MatCAD, но на этот раз в качестве модели выберем регрессию логистического вида, описываемую формулой

$$Q = \frac{a}{1 + b \cdot e^{(-c \cdot X)}}. \quad (3.75)$$

Ход решения задачи и используемые команды PTC MatCAD показаны на рис. 3.51.

Mathcad - [Метод наименьших квадратов]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Ввод исходных данных

$X := \begin{pmatrix} 0 \\ 30 \\ 60 \\ 90 \\ 120 \\ 150 \\ 180 \\ 210 \end{pmatrix}$
 $Y := \begin{pmatrix} 4.3 \\ 5.8 \\ 7.1 \\ 9.2 \\ 9.5 \\ 11.0 \\ 13.4 \\ 14.9 \end{pmatrix}$
 $ORIGIN := 1$

$n := \text{длина}(Y)$ $n = 8$
 $\text{last}(Y) = 8$
 $i := 1..n$

Регрессия логистического вида Остаточная сумма квадратов -
Метод наименьших квадратов

$Q(X, a, b, c) := \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot X)}$
 $SSE(a, b, c) := \sum_i (Y_i - Q(X_i, a, b, c))^2$

Начальные условия:

$a := 0$ $b := 0$ $c := 0$ $TOL = 1 \cdot 10^{-9}$ $CTOL = 1 \cdot 10^{-9}$ **Given**
 $SSE(a, b, c) = 0$

$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} := \text{Minerr}(a, b, c)$
 $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.673 \\ -0.568 \\ -1.805 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$
 $SSE(a, b, c) = 7.61$

$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} := \text{Minimize}(SSE, a, b, c)$
 $\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.948 \\ -0.841 \\ -0.001 \end{pmatrix}$

Полная сумма квадратов: $\text{mean}(Y) = 9.4$ Остаточная сумма квадратов

$TSS(Y) := \sum_{i=1}^n (Y_i - \text{mean}(Y))^2$ $TSS(Y) = 93.12$ $SSE(a, b, c) = 6.24$

Рис. 3.51 (начало). Решение задачи о биточках из рыбного фарша с льняной мукой в PTC MatCAD

Mathcad - [Метод наименьших квадратов]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

100% Normal

Кoeffициент детерминации: $R2 := 1 - \frac{SSE(a, b, c)}{TSS(Y)}$ $R2 = 0.933$

Уравнение модели: $a = 0.948$ $b = -0.841$ $c = -0.001$

$y_i := \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot X_i)}$

i =	y _i =
1	5.96
2	6.51
3	7.18
4	8.01
5	9.09
6	10.53
7	12.55
8	15.58

$Y = \begin{pmatrix} 4.3 \\ 5.8 \\ 7.1 \\ 9.2 \\ 9.5 \\ 11 \\ 13.4 \\ 14.9 \end{pmatrix}$

Средняя квадратическая ошибка прогнозов $S := \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}$ $S = 0.88$

Средняя относительная ошибка прогнозирования, % $E := \left(\frac{100}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - Y_i}{Y_i} \right|$ $E = 10.53$

$Q(X, a, b, c) = \begin{pmatrix} 5.96 \\ 6.51 \\ 7.18 \\ 8.01 \\ 9.09 \\ 10.53 \\ 12.55 \\ 15.58 \end{pmatrix}$

$Y = \begin{pmatrix} 4.3 \\ 5.8 \\ 7.1 \\ 9.2 \\ 9.5 \\ 11 \\ 13.4 \\ 14.9 \end{pmatrix}$

$y - Y = \begin{pmatrix} 1.66 \\ 0.707 \\ 0.077 \\ -1.186 \\ -0.408 \\ -0.469 \\ -0.851 \\ 0.681 \end{pmatrix}$

Кoeffициент детерминации: $R2 := 1 - \frac{\left[\sum (y - Y)^2 \right]}{\left[\sum (Y - \text{mean}(Y))^2 \right]}$ $R2 = 0.933$

Рис. 3.51 (окончание). Решение задачи о биточках из рыбного фарша с льняной мукой в PTC MatCAD

Таким образом, математическая модель эксперимента, полученная в PTC MatCAD, будет иметь вид

$$Q = \frac{0,948}{1 - 0,841 \cdot e^{(0,001 \cdot X)}} \quad (3.76)$$

График, полученный по модели о биточках из рыбного фарша с льняной мукой с нанесением экспериментальных и расчетных точек, приведен на рис. 3.52.

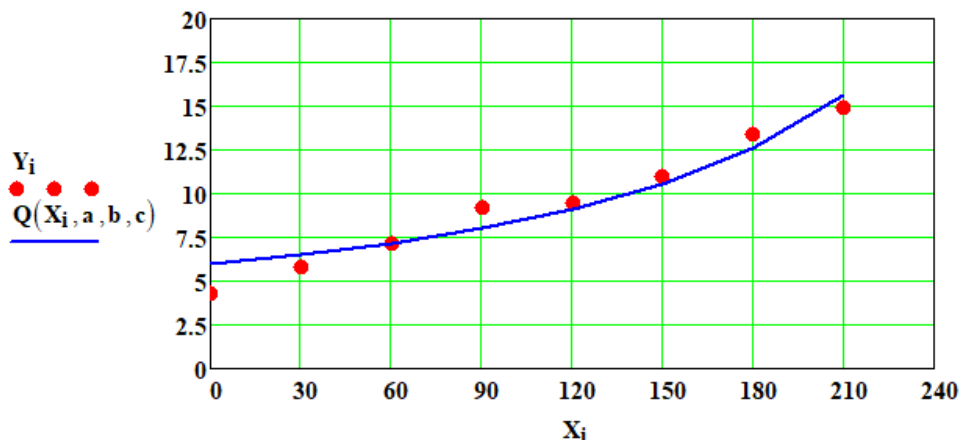


Рис. 3.52. График, полученный в PTC MatCAD по модели о биточках из рыбного фарша с льняной мукой

Поскольку коэффициент детерминации численно равен коэффициенту корреляции в квадрате, проведем сравнение моделей, построенных в PTC MatCAD и в MS Excel: в PTC MatCAD коэффициент детерминации $R^2 = 0,933$, в MS Excel коэффициент корреляции $R = 0,993$. Квадратный корень из 0,933 равен 0,966, что дальше от единицы по сравнению с 0,993. Следовательно, первая модель лучше описывает зависимость адгезионной прочности биточков из рыбного фарша от количества внесенной льняной муки.

3.21. Кейс «Выбор с помощью PTC MathCAD наилучшей регрессионной модели на примере творожно-ягодного суфле»

В ходе проведения экспериментов по совершенствованию рецептуры продукта получают массив данных, подлежащих дальнейшей обработке. При этом возникает необходимость выразить зависимую переменную

в виде функции от независимых переменных. Такая зависимость называется регрессионной моделью, которая может быть записана в виде уравнения регрессии. Для получения таких моделей используют методы регрессионного анализа, которые удобно реализовывать в РТС MatCAD. При этом можно [161]:

- 1) рассчитать регрессионные модели различного вида (табл. 3.28);
- 2) проверить гипотезу адекватности модели полученным экспериментальным данным;
- 3) использовать полученную регрессионную модель для получения расчетных значений зависимой переменной.

Таблица 3.29

Функции MatCAD, используемые для расчета регрессионных моделей

Регрессионная модель	Уравнение регрессии	Команда в РТС MatCAD
Линейная	$y(x) = a \cdot x + b$	<i>line(vx, vy)</i>
Полиномиальная n -й степени	$y(x) = \sum_{i=0}^n a_n \cdot x^n$	<i>pn2:=regress(vx, vy, n)</i> <i>interp(p2, vx, vy, x)</i>
Фрагменты полиномов 2-й степени	$y_i(x) = \sum a_i \cdot x^2 + b_i \cdot x + c_i$	<i>p3:=loess(vx, vy, span)</i> <i>interp(p3, vx, vy, x)</i>
Экспоненциальная	$y(x) = a \cdot e^{b \cdot x} + c$	<i>expfit(vx, vy, g)</i>
Логистическая	$y(x) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot x}}$	<i>lgsfit(vx, vy, g)</i>
Синусоидальная	$y(x) = a \cdot \sin(x + b) + c$	<i>sinfit(vx, vy, g)</i>
Степенная	$y(x) = a \cdot x^b + c$	<i>pwfit(vx, vy, g)</i>
Логарифмическая	$y(x) = a \cdot \ln(x + b) + c$	<i>logfit(vx, vy, g)</i>
Логарифмическая короткая	$y(x) = a \cdot \ln(x) + b$	<i>lnfit(vx, vy, g)</i>

Рассмотрим подробнее аргументы функций (команд), используемых для регрессионного анализа в РТС MatCAD. В каждой команде (табл. 3.29) используются два вектора исходных данных: *vx* — вектор независимых переменных; *vy* — вектор зависимых переменных. Количество элементов этих двух векторов должно совпадать.

Команды *regress* и *loess* используют только вместе с командой *interp* и вычисляют вектор, требуемый командой *interp* для расчета полинома.

Параметр *span* команды *loess* определяет величину области, на которой строится конкретный фрагмент полинома 2-й степени. Значение *span*, предлагаемое РТС MatCAD по умолчанию, равно 0,75. В каждом конкретном случае можно вручную подобрать наилучшее значение *span*.

Параметр *g* является *вектором начальных приближений* для неизвестных функции регрессии. После расчета регрессионных моделей в РТС MatCAD следует выбрать из полученной совокупности уравнений наилучшую функцию с точки зрения адекватности описания экспериментальных данных. В качестве критерия такого выбора предлагается использовать коэффициент детерминации, численно равный коэффициенту корреляции в квадрате. Коэффициент корреляции в РТС MatCAD можно рассчитать с помощью команды *corr(A,B)*, где *A* и *B* — два вектора значений.

Ситуация. Спроектирована рецептура творожного суфле с добавлением сока черной смородины и вишни. Требуется построить регрессионную модель, отражающую зависимость массовой доли влаги *y* (%) от длительности хранения замороженного творожно-ягодного суфле *x* (сут). Данные измерений сведены в табл. 3.30.

Таблица 3.30

Данные измерений

Показатель	Значение										
<i>x</i> , сут.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>y</i> , %	67,5	66,7	66,2	65,8	65,5	65,4	64,9	64,1	64,1	63,9	63,5

Дорожная карта решения

Произведем обработку результатов методами регрессионного анализа с помощью РТС MatCAD.

На рис. 3.53 представлен пример расчета четырех регрессионных моделей и выбора наилучшей из них. Наилучшие результаты дает логистическая модель, которая характеризуется значением коэффициента детерминации, равным 0,982.

Данная регрессионная модель имеет хорошую сходимость с экспериментальными данными, что видно по графику и таблице (рис. 3.54).

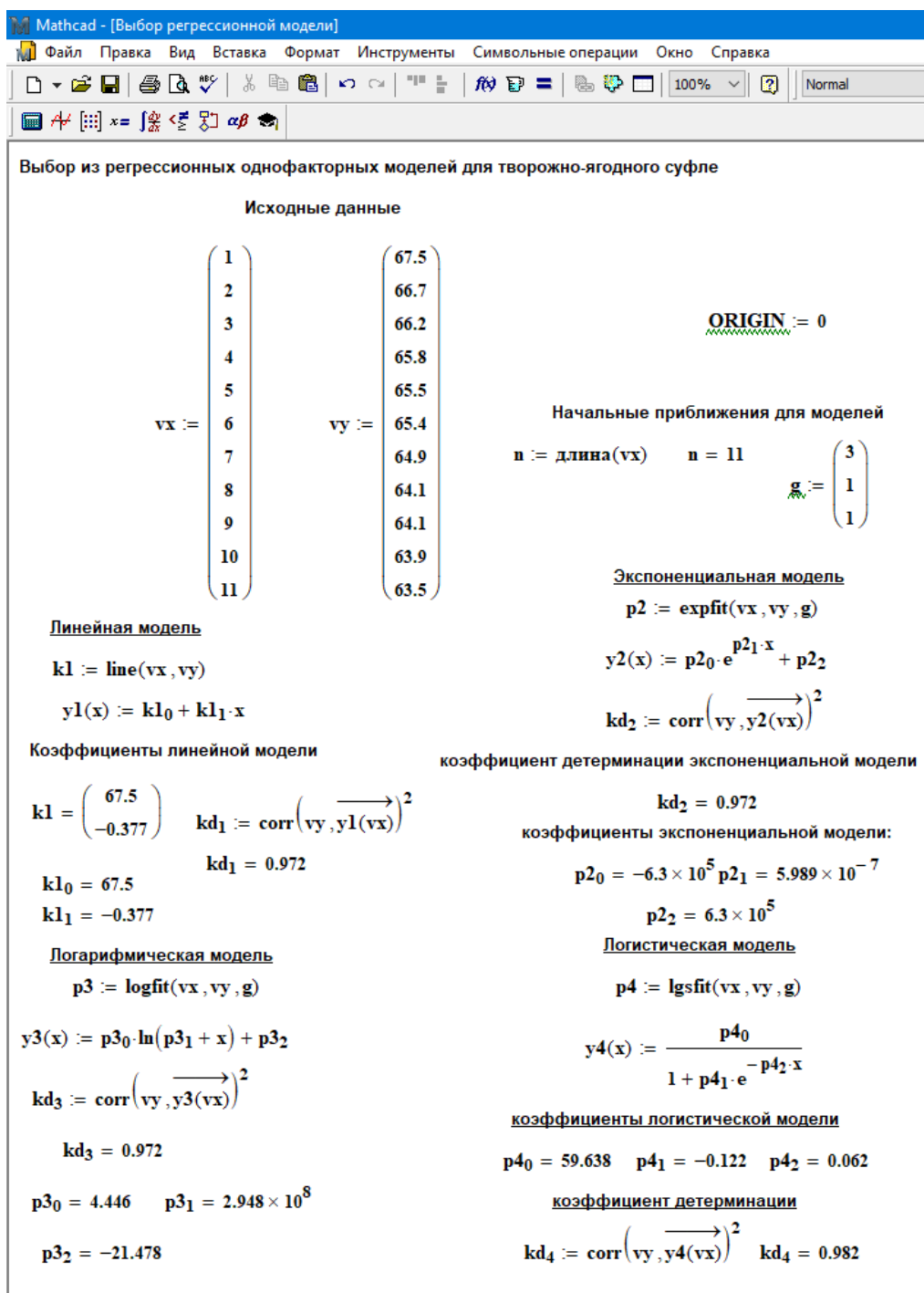


Рис. 3.53. Выбор наилучшей регрессионной модели для творожно-ягодного суфле

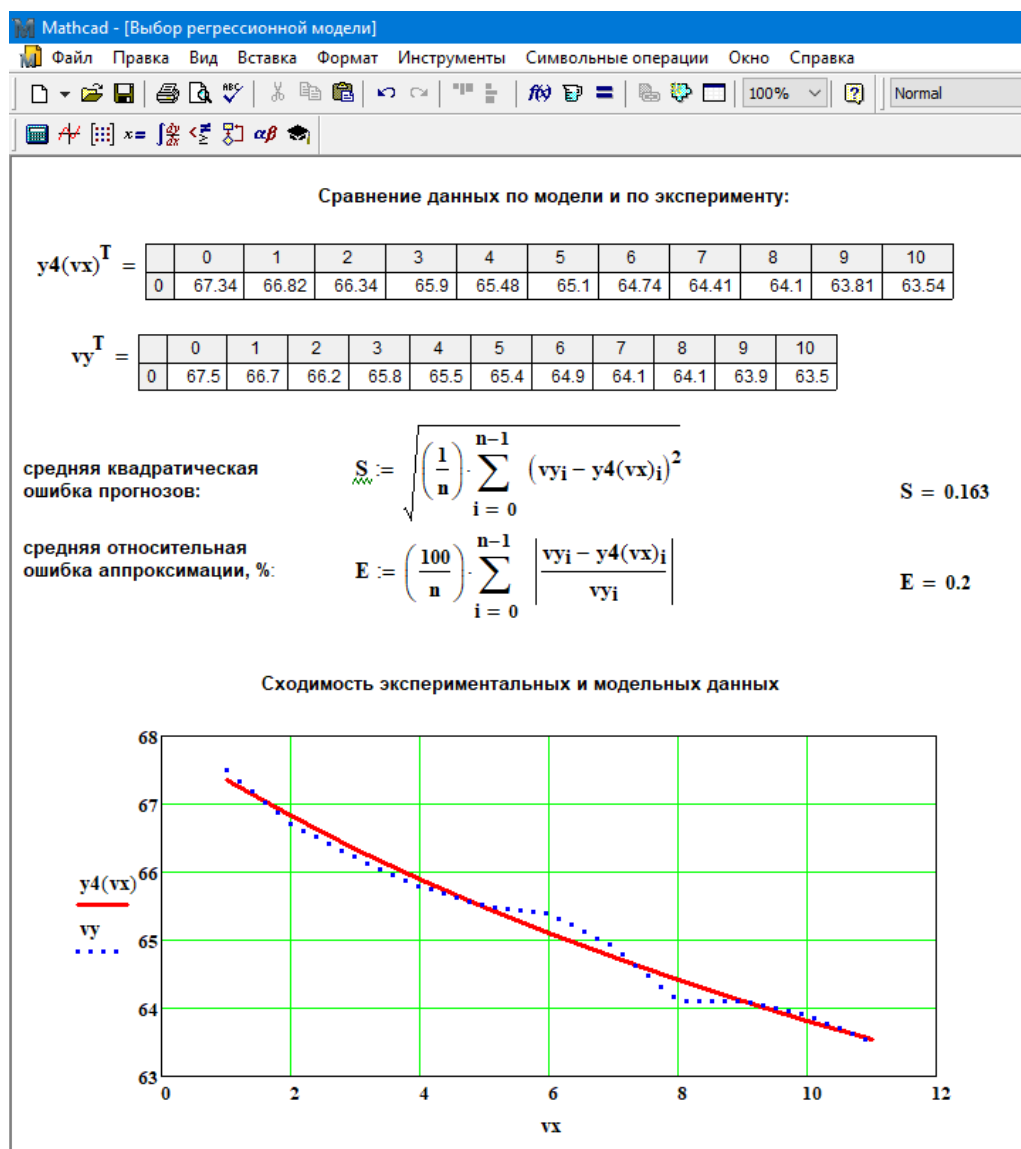


Рис. 3.54. Оценка наилучшей регрессионной модели для творожно-ягодного суфле

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние питания населения — один из важнейших факторов, определяющих здоровье нации. Состояние здоровья человека можно рассматривать как интегральный отклик на совокупное действие такой группы факторов, как наследственность, образ жизни, состояние окружающей среды, социальное окружение, трофический статус. Целесообразно попытаться воздействовать на наиболее лабильный из этих факторов — трофический статус — путем улучшения качества продуктов питания. Разработка научных приемов и методов совершенствования пищевых продуктов в соответствии с принципами цифровой нутрициологии является актуальной задачей современности. Фундаментальные основы проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью заложены в классических работах академиков И. А. Рогова и Н. Н. Липатова (мл.). В дальнейшем методология получила развитие в работах А. Б. Лисицина, Е. И. Титова, С. Б. Юдиной, Ю. Н. Нелепова, Ю. А. Ивашкина, Ю. П. Маркина, А. М. Бражникова, Г. И. Касьянова, А. Е. Краснова, А. Т. Diplock, A. Wollen, Ruguo Hu, G. Dantzig, L. Lasdon, A. Waren, J. G. Watson, D. Fylstra и других ученых. Проведенные исследования основаны также на теоретических и экспериментальных трудах таких ученых, как Н. Н. Липатов (ст.), А. Г. Храмцов, А. М. Уголев, А. А. Покровский, В. А. Тутельян, В. Д. Харитонов, Ю. Я. Свириденко, В. М. Позняковский, В. Б. Спиричев, Л. В. Канторович, Л. А. Остроумов, Н. И. Дунченко, И. С. Хамагаева, И. А. Евдокимов, Н. Б. Гаврилова, Л. В. Голубева, И. И. Протопопов, М. П. Щетинин и др. Для оптимизации рецептур существующих и новых продуктов разработаны различные теоретические подходы, описанные в работах G. E. Arteaga, D. Granato, V. M. de Araújo Calado и др. Одно из главных направлений проектирования рецептур комбинированных продуктов базируется на принципах пищевой комбинаторики, сформулированных Н. Н. Липатовым [173].

Современные методы проектирования рецептур, основанные на принципах пищевой комбинаторики, должны использовать возможности ЭВМ для решения рецептурных задач. Интеграция нутрициологии с пищевыми технологиями открывает перспективы для развития новых современных цифровых методов и приемов разработки

продуктов с заданным химическим составом, специализированных продуктов, а также для персонализации рационов.

Цифровая нутрициология обеспечит перевод на язык цифр, с одной стороны, физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах и ориентированных на них рационов питания, а с другой — химического состава пищевых продуктов и рационов в целом. Созданные на их основе компьютерные программы позволят легко, быстро и надежно осуществлять разработку персонализированных рационов как для здорового питания населения, так и для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний.

Первая глава монографии посвящена современной парадигме алиментарной коррекции нарушений пищевого статуса населения. Во второй главе описаны возможности инструментария цифровой экономики в вопросах разработки и совершенствования пищевых продуктов. В третьей главе рассмотрен ряд кейсов, базирующихся на применении информационных технологий при разработке новых и совершенствовании известных пищевых продуктов.

Монография рассчитана на научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области технологии производства пищевых продуктов, нутрициологии, а также может быть полезной для преподавателей и аспирантов, занимающихся вопросами исследования, разработки и реализации технологических процессов производства пищевых продуктов с заданными составом и свойствами.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (ГЗ № 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, мнемокод 0611-2020-013).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Adedokun, O. Healthy Choices for Everybody Adult Curriculum Improves Participants' Food Resource Management Skills and Food Safety Practices / O. Adedokun, P. Plonski, B. Jenkins-Howard, D. Cotterill, A. Vail // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2018. — Vol. 50. — Issue 6. — P. 638-644. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.02.005>.
2. Arteaga, G. E. Systematic experimental designs for product formula optimization / G. E. Arteaga, E. Li-Chan, M. C. Vazquez-Arteaga, S. Nakai // *Trends in Food Science and Technology*. — 1994. — № 5 (8). — P. 243–254. URL: [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90017-5).
3. Atoloye, A. Being Motivated by Nutrition Is Associated with Healthy Home Food Environment of Supplemental Nutrition Assistance Program (SNAP) Recipients / A. Atoloye, C. Durward // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2019. — Vol. 51. — Issue 1. — P. 101–106. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.07.013>.
4. Bailey, A. Psychometric Analyses of the Motivation to Prepare Healthy Foods Questionnaire Used with Adult College Students / A. Bailey, M. Carter, C. O'Neil, D. Miketinas, G. Tuuri // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2019. — Vol. 51. — Issue 4. — P. 456–464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.08.001>.
5. Barauskaite, D. Eating healthy to impress: How conspicuous consumption, perceived self-control motivation, and descriptive normative influence determine functional food choices / D. Barauskaite, J. Gineikiene, B. Fennis, V. Auruskeviciene, M. Yamaguchi, N. Kondo // *Appetite*. — 2018. — Vol. 131. — P. 59–67. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.08.015>.
6. Basso, F. Taste at first (person) sight: Visual perspective modulates brain activity implicitly associated with viewing unhealthy but not healthy foods / F. Basso, O. Petit, S. Bellu, S. Lahlou, A. Cancel, J. Anton // *Appetite*. — 2018. — Vol. 128. — P. 242–254. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.06.009>.
7. Bechman, A. The use of nutrient-optimizing/cost-minimizing software to develop ready-to-use therapeutic foods for malnourished pregnant women in Mali / A. Bechman, R. Phillips, J. Chen // *Food Science & Nutrition*. —

2015. — № 3 (2). — P. 110–119. URL: <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.175>.
8. Becker, W. Norfoods — recent activities / W. Becker // *Journal of Food Composition and Analysis*. — 2002. — Vol. 15. — P. 485–489. URL: <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1077>.
9. Berezina, N. A. The method of computer-aided design of a bread composition with regard to biomedical requirements / N. A. Berezina, A. V. Artemov, I. A. Nikitin, A. A. Budnik // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. — 2019. — № 10 (5). — P. 137–143. URL: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100517>.
10. Bernstein, J. A free sugar daily value (DV) identifies more “less healthy” prepackaged foods and beverages than a total sugars DV / J. Bernstein, M. Labonté, B. Franco-Arellano, A. Schermel, M. L'Abbé // *Preventive Medicine*. — 2018. — Vol. 109. — P. 98–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.12.031>.
11. Black, L. J. Development of an on-line Irish food composition database for nutrients / L. J. Black, J. Ireland, A. Møller, M. Roe, J. Walton, A. Flynn, P. M. Finglas, M. Kiely // *Journal of Food Composition and Analysis*. — 2011. — Vol. 24, № 7. — P. 1017–1023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.015>.
12. Borisenko, A. A. Meat and plant products designing based on the multilevel modeling method / A. A. Borisenko, A. A. Bratsikhin, L. A. Saricheva, A. A. Borisenko, G. V. Slyusarev, E. A. Chebotarev // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. — 2018. — № 20. — P. 75–79.
13. Bower, J. A. Chapter 10 — Food product formulation. In *Statistical methods for food science* / J. A. Bower. — Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2013 (pp. 246–270). URL: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118541593>.
14. Bush-Kaufman, A. Development and Testing of the Healthy Food Pantry Assessment Tool / A. Bush-Kaufman, K. Barale, M. Aragón, M. Walsh // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2019. — Vol. 51. — Issue 5. — P. 578–588. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.10.004>.
15. Bush-Kaufman, A. In-Depth Qualitative Interviews to Explore Healthy Environment Strategies in Food Pantries in the Western United States /

- A. Bush-Kaufman, K. Barale, M. Walsh, R. Sero // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. — 2019. — Vol. 119. — Issue 10. — P. 1632–1643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.05.010>.
16. Cade, J. E. DIET@NET: Best Practice Guidelines for dietary assessment in health research / J. E. Cade, M. Warthon-Medina, S. Albar et al. // *BMC Med*. — 2017. — Vol. 15, № 202. URL: <https://doi.org/10.1186/s12916-017-0962-x>.
17. Chandrasekar, R. S. C. Biofortification of riboflavin and folate in idli batter, based on fermented cereal and pulse, by *Lactococcus lactis* N8 and *Saccharomyces boulardii* SAA655 / R. S. C. Chandrasekar, B. Chamlagain, S. Kariluoto, V. Piironen, P. E. J. Saris // *Journal of Applied Microbiology*. — 2017 — Vol. 122, № 6. — P. 1663–1671. URL: <https://doi.org/10.1111/jam.13453>.
18. Chang, H. C. Healthy and safe Korean traditional fermented foods: kimchi and chongkukjang / H. C. Chang // *Journal of Ethnic Foods*. — 2018. — Vol. 5. — Issue 3. — P. 161–166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jef.2018.08.003>.
19. Chrisinger, B. Where do U.S. households purchase healthy foods? An analysis of food-at-home purchases across different types of retailers in a nationally representative dataset / B. Chrisinger, M. Kallan, E. Whiteman, A. Hillier // *Preventive Medicine*. — 2018. — Vol. 112. — P. 15–22. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2018.03.015>.
20. Church, S. M. The importance of food composition data in recipe analysis / S. M. Church // *Nutrition Bulletin*. — 2015. — Vol. 40. — P. 40–44. URL: <https://doi.org/10.1111/nbu.12125>.
21. Concina, F. Development of a food composition database to study complementary feeding: An Italian experience / F. Concina, C. Carletti, P. Pani, A. Knowles, F. Barbone, M. Parpinel // *Journal of Food Composition and Analysis*. — 2016. — Vol. 46. — P. 96–102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.11.008>.
22. Costa, H. S. New nutritional composition data on selected traditional foods consumed in Black Sea Area countries / H. S. Costa, T. G. Albuquerque, A. Sanches-Silva, E. Vasilopoulou, A. Trichopoulou, L. F. D'Antuono, I. Alexieva, N. Boyko, C. Costea, K. Fedosova // *Journal of The Science of*

- Food and Agriculture. — 2013. — Vol. 93. — P. 3524–3534. URL: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6192>.
23. Dalma, A. Daily distribution of free healthy school meals or food-voucher intervention? Perceptions and attitudes of parents and educators / A. Dalma, D. Zota, M. Kouvari, C. Kastorini, A. Veloudaki, P. Ellis-Montalban, A. Petralias, A. Linos, K. Belogianni, E. Critselis, P. Georgakopoulos, P. Karnaki, C. Linos, A. Lykou, I. Markaki, K. Mitraka, A. Pantazopoulou, E. Papadimitriou, M. Peppas, E. Riza, E. Papasaranti, I. Spyridis, M. Yannakoulia // *Appetite*. — 2018. — Vol. 120. — P. 627–635. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.10.025>.
24. Daniel, C. Is healthy eating too expensive? How low-income parents evaluate the cost of food / C. Daniel // *Social Science & Medicine*. — 2020. — Vol. 248. URL: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.112823>.
25. Datta, S. Computer-aided Optimization of Wine Blending / S. Datta, S. Nakai // *Journal of Food Science*. — 1992. — № 57 (1). — P. 178–182. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05450.x>.
26. Demartini, E. Changing attitudes towards healthy food via self-association or nutritional information: What works best? / E. Demartini, E. Marchi, A. Cavaliere, S. Mattavelli, A. Gaviglio, A. Banterle, J. Richetin, M. Perugini // *Appetite*. — 2019. — Vol. 132. — P. 166–174. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.08.001>.
27. Denny, A. R. Second International EuroFIR Congress 2007: the role of food composition data in improving quality, healthiness and safety of European diets / A. R. Denny, J. L. Buttriss, P. M. Finglas // *Food Chemistry*. — 2009. — Vol. 113. — P. 733–735. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.036>.
28. Dial, L. Healthy? Tasty? Children's evaluative categorization of novel foods / L. Dial, D. Musher-Eizenman // *Cognitive Development*. — 2019. — Vol. 50. — P. 36–48. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2019.02.001>.
29. Dighe, S. Healthier school food and physical activity environments are associated with lower student body mass index / S. Dighe, K. Lloyd, F. Acciai, S. Martinelli, M. Yedidia, P. Ohri-Vachaspati // *Preventive Medicine Reports*. — 2020. — Vol. 19. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2020.101115>.

30. Ditlevsen, K. Healthy food is nutritious, but organic food is healthy because it is pure: The negotiation of healthy food choices by Danish consumers of organic food / K. Ditlevsen, P. Sandøe, J. Lassen // *Food Quality and Preference*. — 2019. — Vol. 71. — P. 46–53. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.001>.
31. Elmadfa, I. Importance of food composition data to nutrition and public health / I. Elmadfa, A. Meyer // *European Journal of Clinical Nutrition*. — 2010. — № 64. — P. S4–S7. URL: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.202>.
32. Englund, T. How Branded Marketing and Media Campaigns Can Support a Healthy Diet and Food Well-Being for Americans: Evidence for 13 Campaigns in the United States / T. Englund, M. Zhou, V. Hedrick, V. Kraak // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2020. — Vol. 52. — Issue 1. — P. 87–95. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.09.018>.
33. Fagerstrøm, A. The relative importance of healthy food labels when shopping for groceries online / A. Fagerstrøm, P. Richartz, S. Pawar, N. Magne Larsen, V. Sigurdsson, N. Eriksson // *Procedia Computer Science*. — 2019. — Vol. 164. — P. 538–545. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.217>.
34. Fantino, M. Reprint of «Beverages containing low energy sweeteners» do not differ from water in their effects on appetite, energy intake and food choices in healthy, non-obese French adults / M. Fantino, A. Fantino, M. Matray, F. Mistretta // *Appetite*. — 2018. — Vol. 129. — P. 103–112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.06.036>.
35. Feinerman, E. Linear Programming In Handbook of food and bioprocesses modeling techniques (Eds. S. Sablani, A. Datta, M. Rahman, A. Mujumdar) / E. Feinerman, S. Saguy // CRC Press, 2006. pp. 563–592. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420015072-21>.
36. Filippetti, A. Innovation in times of crisis: National Systems of Innovation, structure, and demand / A. Filippetti, D. Archibugi // *Research Policy*. — 2011. — №. 40. — P. 179–192. URL: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.09.001>.
37. Finglas, P. The contribution of food composition resources to nutrition science methodology / P. Finglas, M. Roe, H. Pinchen, S. Astley // *Nutrition Bulletin*. — 2017. — Vol. 42. — P. 198–206. URL: <https://doi.org/10.1111/nbu.12274>.

38. Finglas, P. M. Assessing and Improving the Quality of Food Composition Databases for Nutrition and Health Applications in Europe: The Contribution of EuroFIR / P. M. Finglas, R. Berry, S. Astley // *Advances in Nutrition*. — 2014. — Vol. 5, № 5. — P. 608S–614S. URL: <https://doi.org/10.3945/an.113.005470>
39. Fitzpatrick? T.B. Vitamin deficiencies in humans: can plant science help? / T. B. Fitzpatrick, G. J. C. Basset, P. Borel, F. Carrari, D. Della Penna, P. D. Fraser, H. Hellmann, S. Osorio, C. Rothan, V. Valpuesta, C. C. Veyrat, A. R. Fernie // *Plant Cell*. — 2012. — Vol. 24, № 2. — P. 395–414. DOI: 10.1105/tpc.111.093120.
40. Folwarczny, M. Using neuro-IS/consumer neuroscience tools to study healthy food choices: a review / M. Folwarczny, S. Pawar, V. Sigurdsson, A. Fagerstrøm // *Procedia Computer Science*. — 2019. — Vol. 164. — P. 532–537. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.216>.
41. Ford, A. Parents' and carers' awareness and perceptions of UK supermarket policies on less healthy food at checkouts: A qualitative study / A. Ford, D. Eadie, J. Adams, A. Adamson, M. White, M. Stead // *Appetite*. — 2020. — Vol. 147. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104541>.
42. Freire, T. Healthy food diversity and supermarket interventions: Evidence from the Seacroft Intervention Study / T. Freire, S. Rudkin // *Food Policy*. — 2019. — Vol. 83. — P. 125–138. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.12.006>.
43. García, J. Design of novel functional food products enriched with bioactive extracts from holothurians for meeting the nutritional needs of the elderly / J. García, D. Méndez, M. Álvarez, B. Sanmartin, R. Vázquez, L. Regueiro, M. Atanassova // *LWT*. — 2019. — Vol. 109. — P. 55–62. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.097>.
44. Gaspar, M. How would you define healthy food? Social representations of Brazilian, French and Spanish dietitians and young laywomen / M. Gaspar, A. Garcia, C. Larrea-Killinger // *Appetite*. — 2020. — Vol. 153. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104728>.
45. Giese, J. Product development software aids formulation / J. Giese // *Food Technology*. — 2003. — № 57 (10). — P. 78–80.

46. Goff, H. D. Ice cream / H. D. Goff, R. W. Hartel. — New York : Springer Science & Business Media, 2013. DOI 10.1007/978-1-4614-6096-1.
47. Granato, D. Mathematical and statistical methods in food science and technology / D. Granato, V. M. de Araújo Calado // D. Granato, G. Ares (Eds.). Mathematical and statistical methods in food science and technology (pp. 1–18). Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd. 2014. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118434635.ch01>.
48. Grom, L. C. Postprandial glycemia in healthy subjects: Which probiotic dairy food is more adequate? / L. C. Grom, R. S. Rocha, C. F. Balthazar, J. T. Guimarães, N. M. Coutinho, C. P. Barros, T. C. Pimentel, E. L. Venâncio, I. Collopy Junior, P. M. C. Maciel, P. H. F. Silva, D. Granato, M. Q. Freitas, E. A. Esmerino, M. C. Silva, A. G. Cruz // Journal of Dairy Science. — 2020. — Vol. 103. — Issue 2. — P. 1110–1119. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17401>.
49. Hagmann, D. Nutri-Score, multiple traffic light and incomplete nutrition labelling on food packages: Effects on consumers' accuracy in identifying healthier snack options / D. Hagmann, M. Siegrist // Food Quality and Preference. — 2020. — Vol. 83. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103894>.
50. Hartmann, C. European consumer healthiness evaluation of «Free-from» labelled food products / C. Hartmann, S. Hieke, C. Taper, M. Siegrist // Food Quality and Preference. — 2018. — Vol. 68. — P. 377–388. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.009>.
51. Heijden, A. Healthy is (not) tasty? Implicit and explicit associations between food healthiness and tastiness in primary school-aged children and parents with a lower socioeconomic position / A. Heijden, H. Molder, C. Graaf, G. Jager // Food Quality and Preference. — 2020. — Vol. 84. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103939>.
52. Huang, H. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry / H. Huang, C. Hsu, C. Wang // Journal of Food and Drug Analysis. — 2020. — Vol. 28. — Issue 1. — P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.10.002>.
53. Hunter, J. A. Impact of proximity of healthier versus less healthy foods on intake: A lab-based experiment / J. A. Hunter, G. J. Hollands, M. Pilling,

- T. M. Marteau // *Appetite*. — 2019. — Vol. 133. — P. 147–155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.10.021>.
54. Ivanova V. N. Clustering of multidimensional objects in the formation of personalized diets / V. N. Ivanova, I. A. Nikitin, N. A. Zhuchenko, M. A. Nikitina, Y. I. Sidorenko, V. I. Karpov, I. A. Zavalishin // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. — 2019. — Vol. 10, № 2. — P. 45–50. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100206.
55. Jacobs, D. R. Food, not nutrients, is the fundamental unit in nutrition / D. R. Jacobs, L. C. Tapsell // *Nutrition Reviews*. — 2007. — Vol. 65, № 10. — P. 439–450. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2007.tb00269.x>.
56. Jung, F. Eat healthy? Attitudes of the German population towards industrially produced cardioprotective food / F. Jung, C. Luck-Sikorski, M. Krüger, C. Wiacek, P. G. Braun, S. Engeli, S. G. Riedel-Heller // *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. — 2018. — Vol. 28. — Issue 5. — P. 486–493. URL: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2018.01.002>.
57. Kamp, M. Healthy diets with reduced environmental impact? — The greenhouse gas emissions of various diets adhering to the Dutch food based dietary guidelines / M. Kamp, C. Dooren, A. Hollander, M. Geurts, E. Brink, C. Rossum, S. Biesbroek, E. Valk, I. Toxopeus, E. Temme // *Food Research International*. — 2018. — Vol. 104. — P. 14–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.006>.
58. Karekla, M. Cognitive Restructuring vs. Defusion: Impact on craving, healthy and unhealthy food intake / M. Karekla, N. Georgiou, G. Panayiotou, E. Sandoz, A. Kurz, M. Constantinou // *Eating Behaviors*. — 2020. — Vol. 37. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2020.101385>.
59. Keith, J. Barriers and Strategies for Healthy Food Choices among American Indian Tribal College Students: A Qualitative Analysis / J. Keith, S. Stastny, A. Brunt, W. Agnew // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. — 2018. — Vol. 118. — Issue 6. — P. 1017–1026. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2017.08.003>.
60. Kern, D. Neighborhood price of healthier food relative to unhealthy food and its association with type 2 diabetes and insulin resistance: The multi-

- ethnic study of atherosclerosis / D. Kern, A. Auchincloss, M. Stehr, A. Diez Roux, K. Moore, G. Kanter, L. Robinson // *Preventive Medicine*. — 2018. — Vol. 106. — P. 122–129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.10.029>.
61. Khokhar, S. Harmonised procedures for producing new data on the nutritional composition of ethnic foods / S. Khokhar, P. A. Gilbert, C. W. A. Moyle, E. Carnovale, D. R. Shahar, J. Ngo, E. Saxholt, J. Ireland, M. Jansen-van der Vliet, M. Bellemans // *Food Chemistry*. — 2009. — Vol. 113, № 3. — P. 816–824. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.046>.
62. Kiselev, V. M. Combinatorial calculus of ingredients of functional foods / V. M. Kiselev // *Achieving Commodity & Service Excellence in the Age of Digital Convergence*. — The 16th Symposium of IGWT. — Korea : Suwon, 2008. — Proceeding Vol. 1. — P. 392–396.
63. Kolak, M. Urban foodscape trends: Disparities in healthy food access in Chicago, 2007–2014 / M. Kolak, M. Bradley, D. Block, L. Pool, G. Garg, C. Toman, K. Boatright, D. Lipiszko, J. Koschinsky, K. Kershaw, M. Car-nethon, T. Isakova, M. Wolf // *Health & Place*. — 2018. — Vol. 52. — P. 231–239. URL: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.06.003>.
64. Koneva, M. S. Neural network and regression analysis of the dependence of the ranking score of organoleptic characteristics on the food system composition / M. S. Koneva, S. V. Usatikov, N. A. Bugaets, M. Y. Tamova // *Asian Journal of Pharmaceutics*. — 2017. — № 11 (2). — P. 308–319. DOI:10.22377/ajp.v11i02.1270.
65. König, L. Colourful=healthy? Exploring meal colour variety and its relation to food consumption / L. König, B. Renner // *Food Quality and Preference*. — 2018. — Vol. 64. — P. 66–71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.10.011>.
66. Laar, A. Implementation of healthy food environment policies to prevent nutrition-related non-communicable diseases in Ghana: National experts' assessment of government action / A. Laar, A. Barnes, R. Aryeetey, A. Tandoh, K. Bash, K. Mensah, F. Zotor, S. Vandevijvere, M. Holdsworth // *Food Policy*. — 2020. — Vol. 93. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101907>.

67. Lara, J. Effectiveness of dietary interventions among adults of retirement age: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / J. Lara, N. Hobbs, P. J. Moynihan, T. D. Meyer, A. J. Adamson, L. Errington // *BMC Medicine*. — 2014. — № 12 (1). — P. 60. URL: <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-60>.
68. Levy, D. Design of ChooseWell 365: Randomized controlled trial of an automated, personalized worksite intervention to promote healthy food choices and prevent weight gain / D. Levy, E. Gelsomin, E. Rimm, M. Pachucki, J. Sanford, E. Anderson, C. Johnson, R. Schutzberg, A. Thorndike // *Contemporary Clinical Trials*. — 2018. — Vol. 75. — P. 78–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cct.2018.11.004>.
69. Li, J. Exploring relationships of grocery shopping patterns and healthy food accessibility in residential neighborhoods and activity space / J. Li, C. Kim // *Applied Geography*. — 2020. — Vol. 116. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102169>.
70. Lien, J. Are work intensity and healthy eating substitutes? Field evidence on food choices under varying workloads / J. Lien, J. Zheng // *Journal of Economic Behavior & Organization*. — 2018. — Vol. 145. — P. 370–401. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2017.10.019>.
71. Lim, C. Attitudes and beliefs regarding food in a multi-ethnic Asian population and their association with socio-demographic variables and healthy eating intentions / C. Lim, R. Dam // *Appetite*. — 2020. — Vol. 144. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104461>.
72. Lirong, H. Dynamic healthy food accessibility in a rapidly urbanizing metropolitan area: Socioeconomic inequality and relative contribution of local factors / H. Lirong, Z. Chong, W. Miao, S. Shiliang, W. Min, W. Wen // *Cities*. — 2020. — Vol. 105. — P. 1–19. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102819>.
73. Lisitsyn, A. B. Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect / A. B. Lisitsyn, I. M. Chernukha, M. A. Nikitina // *Foods and Raw Materials*. — 2020. — № 8 (1). — P. 2–11. URL: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-2-11>.
74. Lopez, N. Parenting styles, food-related parenting practices, and children's healthy eating: A mediation analysis to examine relationships between parenting and child diet / N. Lopez, S. Schembre, B. Belcher, S. O'Connor,

- J. Maher, R. Arbel, G. Margolin, G. Dunton // *Appetite*. — 2018. — Vol. 128. — P. 205–213. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.06.021>.
75. Luthringer, C. L. Regulatory monitoring of fortified foods: identifying barriers and good practices / C. L. Luthringer, L. A. Rowe, M. Vossenaar, G. S. Garrett // *Global Health: Science and Practice*. — 2015. — № 3 (3). — С. 446–461. DOI: 10.9745/GHSP-D-15-00171.
76. Machackova, M. EuroFIR Guideline on calculation of nutrient content of foods for food business operators / M. Machackova, A. Giertlova, J. Porubská, M. Roe, C. Ramos, P. Finglas // *Food Chemistry*. — 2018. — Vol. 238. — P. 35–41. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.103>.
77. Makkonen, T. Government science and technology budgets in times of crisis / T. Makkonen // *Research Policy*. — 2013. — № 42. — P. 817–822. URL: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.10.002>
78. Manippa, V. Healthiness or calories? Side biases in food perception and preference / V. Manippa, F. Giuliani, A. Brancucci // *Appetite*. — 2020. — Vol. 147. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104552>.
79. Marconi, S. Food Composition Databases: Considerations about Complex Food Matrices / S. Marconi, A. Durazzo, E. Camilli, S. Lisciani, P. Gabrielli, A. Aguzzi, L. Gambelli, M. Lucarini, L. Marletta // *Foods*. — 2018. — Vol. 7 (1). DOI: 10.3390/foods7010002.
80. Martinez-Victoria, E. Intake of energy and nutrients; harmonization of Food Composition Databases / E. Martinez-Victoria, I. M. de Victoria, M. B. Martinez-Burgos // *Nutrition Hospitalaria*. — 2015. — Vol. 31. — P. 168–176. DOI: 10.3305/nh.2015.31.sup3.8764.
81. Marty, L. When do healthiness and liking drive children's food choices? The influence of social context and weight status / L. Marty, S. Nicklaus, M. Miguët, S. Chambaron, S. Monnery-Patris // *Appetite*. — 2018. — Vol. 125. — P. 466–473. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.003>.
82. Masterson, T. «Healthy»/«Unhealthy» Food Brands Influence Health, Calorie, and Price Ratings of Food / T. Masterson, C. Florissi, K. Clark, D. Gilbert-Diamond // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2020.01.008>.

83. Mattioni, D. Healthy diets and the retail food environment: A sociological approach / D. Mattioni, A. Loconto, G. Brunori // *Health & Place*. — 2020. — Vol. 61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102244>.
84. McCabe-Sellers, B. Readiness of food composition databases and food component analysis systems for nutrigenomics / B. McCabe-Sellers, C. Chenard, D. Lovera, C. Champagne, M. Bogle, J. Kaput // *Journal of Food Composition and Analysis*. — 2009. — Vol. 22. — P. S57–S62. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.02.004>.
85. McClements, D. J. Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods / D. J. McClements, E. A. Decker, Y. Park., J. Weiss // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. — 2009. — № 49 (6). — P. 577–606. URL: <https://doi.org/10.1080/10408390902841529>.
86. Mergelsberg, E. Food healthiness versus tastiness: Contrasting their impact on more and less successful healthy shoppers within a virtual food shopping task / E. Mergelsberg, C. MacLeod, B. Mullan, D. Rudaizky, V. Allom, K. Houben, O. Lipp, // *Appetite*. — 2019. — Vol. 133. — P. 405–413. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.11.029>.
87. Metcalfe, J. Family food involvement is related to healthier dietary intake in preschool-aged children / J. Metcalfe, B. Fiese // *Appetite*. — 2018. — Vol. 126. — P. 195–200. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.021>.
88. Mhurchu, C. Do nutrition labels influence healthier food choices? Analysis of label viewing behaviour and subsequent food purchases in a labelling intervention trial / C. Mhurchu, H. Eyles, Y. Jiang, T. Blakely // *Appetite*. — 2018. — Vol. 121. — P. 360–365. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.11.105>.
89. Montagnese, C. European food-based dietary guidelines: A comparison and update / C. Montagnese, L. Santarpia, M. Buonifacio, A. Nardelli, A. R. Caldara, E. Silvestri // *Nutrition*. — 2015. — № 31 (7–8). — P. 908–915. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.01.002>.
90. Mulyanto, M. Productivity of R&D institution: The case of Indonesia / M. Mulyanto // *Technology in Society*. — 2016. — № 44. — P. 78–91. URL: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.12.001>

91. Musina, O. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: a case study / O. Musina, P. Putnik, M. Koubaa, F. J. Barba, R. Greiner, S. Roohinejad, D. Granato // *Trends in Food Science & Technology*. — 2017. — Vol. 64. — P. 48–59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.011>.
92. Musina, O. N. An approach to the choice of alternatives of the optimized formulations / O. N. Musina, P. A. Lisin // *Foods and Raw Materials*. — 2015. — № 3 (2). — P. 65–73. URL: <https://doi.org/10.12737/13120>.
93. Naderer, B. Shaping children's healthy eating habits with food placements? Food placements of high and low nutritional value in cartoons, Children's BMI, food-related parental mediation strategies, and food choice / B. Naderer, J. Matthes, A. Binder, F. Marquart, M. Mayrhofer, A. Obereder, I. Spielvogel // *Appetite*. — 2018. — Vol. 120. — P. 644–653. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.10.023>.
94. Nikitin, I. A. Comprehensive assessment of fruit jelly with an improved carbohydrate profile based on unconventional plant raw materials / I. A. Nikitin, M. A. Nikitina, N. M. Allilueva, A. Yu. Krivosheev // *Foods and Raw Materials*. — 2019. — Vol. 7, №1. — P. 26–34. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-26-34>.
95. Nikitina, M. A. Application of the hierarchy analysis method at the food-stuffs quality evaluation / M. A. Nikitina, I. A. Nikitin, N. G. Semenkina, I. V. Zavalishin, A. V. Goncharov // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. — 2018. — Vol. 9, № 5. — P. 51–59. DOI: 10.14569/IJACSA.2018.090507.
96. Niven, P. Effects of health star labelling on the healthiness of adults' fast food meal selections: An experimental study / P. Niven, B. Morley, H. Dixon, J. Martin, A. Jones, K. Petersen, M. Wakefield // *Appetite*. — 2019. — Vol. 136. — P. 146–153. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.01.018>.
97. Norris, C. Ambivalence toward healthy and unhealthy food and moderation by individual differences in restrained eating / C. Norris, E. Do, E. Close, S. Deswert // *Appetite*. — 2019. — Vol. 140. — P. 309–317. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.05.033>.

98. Oliver, T. Barriers to Healthy Eating in a Community That Relies on an Emergency Food Pantry / T. Oliver, A. McKeever, R. Shenkman, L. Die-wald // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2020. — Vol. 52. — Issue 3. — P. 299–306. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.10.005>.
99. Otterbring, T. Healthy or wealthy? Attractive individuals induce sex-spe-cific food preferences / T. Otterbring // *Food Quality and Preference*. — 2018. — Vol. 70. — P. 11–20. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.014>.
100. Pechey, R. Impact of increasing the proportion of healthier foods available on energy purchased in worksite cafeterias: A stepped wedge randomized controlled pilot trial / R. Pechey, E. Cartwright, M. Pilling, G. Hollands, M. Vasiljevic, S. Jebb, T. Marteau // *Appetite*. — 2019. — Vol. 133. — P. 286–296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.11.013>.
101. Peter, S. Selected nutrients and their implications for health and disease across the lifespan: A roadmap / S. Peter, M. Eggersdorfer, D. Van Asselt, E. Buskens, P. Detzel, K. Freijer // *Nutrients*. — 2014. — № 6 (12). — P. 6076–6094. URL: <https://doi.org/10.3390/nu6126076>.
102. Poquet, D. Effect of a pleasure-oriented intervention on the nutritional quality of midafternoon snacks and on the relationship between food liking and perceived healthiness within mother-child dyads / D. Poquet, E. Ginon, C. Sénécal, C. Chabanet, S. Marette, S. Issanchou, S. Monnery-Patris // *Food Quality and Preference*. — 2020. — Vol. 84. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103947>.
103. Portanguen, S. Toward the design of functional foods and biobased prod-ucts by 3D printing: A review / S. Portanguen, P. Tournayre, J. Sicard, T. Astruc, P. Mirade // *Trends in Food Science & Technology*. — 2019. — Vol. 86. — P. 188–198. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.023>.
104. Powers, P. M. Calculating the nutrient composition of recipes with com-puters / P. M. Powers, L. W. Hoover // *Journal of the American Dietetic Association*. — 1989. — № 89 (2). — P. 224–233.
105. Raber, M. The Healthy Cooking Index: Nutrition Optimizing Home Food Preparation Practices across Multiple Data Collection Methods / M. Raber, T. Baranowski, K. Crawford, S. Sharma, V. Schick, C. Markham, W. Jia,

- M. Sun, E. Steinman, J. Chandra // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. — 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.01.008>.
106. Reinivuo, H. Harmonisation of recipe calculation procedures in European food composition databases / H. Reinivuo, S. Bell, M.-L. Ovaskainen // *Journal of Food Composition and Analysis*. — 2009. — Vol. 22, № 5. — P. 410–413. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.04.003>.
107. Reinivuo, H. WP2.2 Composite Foods: Harmonization of recipe calculation procedures (D2.2.12/M2.2.4) / H. Reinivuo, K. Laitinen // *European Food Information Resource Network*, 2007. URL: http://www.fao.org/uploads/media/reinivuvo_laitinen_2007_Eurofir_recipe_harmonisation_D2.2.12_M2.2.4_02.pdf.
108. Ruder, E. Parent Food and Eating Behavior Assessments Predict Targeted Healthy Eating Index Components / E. Ruder, B. Lohse, D. Mitchell, L. Cunningham-Sabo // *Journal of Nutrition Education and Behavior*. — 2019. — Vol. 51. — Issue 6. — P. 711–718. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.02.009>.
109. Sacco, J. Food fortification policy in Canada / J. Sacco // *Handbook of food fortification and health. From concepts to public health applications*. Vol. 1. / Editors V. R. Preedy, R. Srirajaskanthan, V. B. Patel. — New York : Humana Press, 2013. — P. 59–71. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7076-2_5.
110. Samman, N. C. Validation of a sampling plan to generate food composition data / N. C. Samman, M. A. Gimenez, N. Bassett, M. O. Lobo, M. E. Marcoleri // *Food Chemistry*. — 2016. — Vol. 193. — P. 141–147. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.083>.
111. Schutter, O. A «Common Food Policy» for Europe: How governance reforms can spark a shift to healthy diets and sustainable food systems / O. Schutter, N. Jacobs, C. Clément // *Food Policy*. — 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101849>.
112. Sim, A. Influence of impending healthy food consumption on snacking: Nudging vs. compensatory behavior / A. Sim, B. Cheon // *Physiology & Behavior*. — 2019. — Vol. 198. — P. 48–56. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.010>.

113. Slimani, N. Standardisation of an European end-user nutrient database for nutritional epidemiology: what can we learn from the EPIC Nutrient Database (ENDB) project? / N. Slimani, G. Deharveng, I. Unwin, J. Vignat, G. Skeie, S. Salvini, A. Moller, J. Ireland, W. Becker, D. A. T. Southgate // *Trends in Food Science & Technology*. — 2007. — Vol. 18, № 8. — P. 407–419. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.02.005>.
114. Slimani, N. The EPIC nutrient database project (ENDB): a first attempt to standardize nutrient databases across the 10 European countries participating in the EPIC study / Slimani N., Deharveng G., Unwin I., Southgate D.A.T., Vignat J., Skeie G., Salvini S., Parpinel M., Moller A., Ireland J., Becker W., Farran A., Westenbrink S., Vasilopoulou E., Unwin J., Borgejordet A., Rohrmann S., Church S., Gnagnarella P., Casagrande C., van Bakel, M., Niravong M., Boutron-Ruault M.C., Stripp C., Tjonneland A., Trichopoulou A., Georga K., Nilsson S., Mattisson I., Ray J., Boeing H., Ocke M., Peeters P.H.M., Jakszyn P., Amiano P., Engeset D., Lund E., Santucci de Magistris M., Sacerdote C., Welch A., Bingham S., Subar A.F., Riboli E. // *European Journal of Clinical Nutrition*. — 2007. — Vol. 61. — P. 1037–1056. URL: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602679>.
115. Smolikhina, P. M. The study of structure formation processes in the confectionery mass / P. M. Smolikhina, E. I. Muratova, S. I. Dvoretzky // *Advanced Materials and Technologies*. — 2016. — № 2. — P. 43–47. URL: <https://doi.org/10.17277/amt.2016.02.pp.043-047>
116. Spiker, M. Cultivating Sustainable, Resilient, and Healthy Food and Water Systems: A Nutrition-Focused Framework for Action / M. Spiker, A. Knoblock-Hahn, K. Brown, J. Giddens, A. Hege, K. Sauer, D. Enos, A. Steiber // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. — 2020. — Vol. 120. — Issue 6. — P. 1057–1067. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.02.018>.
117. Story, M. Creating healthy food and eating environments: Policy and environmental approaches / M. Story, K. M. Kaphingst, R. Robinson-O'Brien, K. Glanz // *Annual Review of Public Health*. — 2008. — № 29 (1). — P. 253–272. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090926>.

118. Sutton, K. Healthy food marketing and purchases of fruits and vegetables in large grocery stores / K. Sutton, J. Caldwell, S. Yoshida, J. Thompson, T. Kuo // *Preventive Medicine Reports*. — 2019. — Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2019.100861>.
119. Thurecht, R. Dietitians' perceptions of the healthiness of packaged food / R. Thurecht, F. Pelly, S. Cooper // *Appetite*. — 2018. — Vol. 120. — P. 302–309. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.08.036>.
120. Tobore, T. O. Towards a comprehensive theory of obesity and a healthy diet: The causal role of oxidative stress in food addiction and obesity / T. O. Tobore // *Behavioural Brain Research*. — 2020. — Vol. 384. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112560>.
121. Trudel-Guy, C. Impact of pleasure-oriented messages on food choices: is it more effective than traditional health-oriented messages to promote healthy eating? / C. Trudel-Guy, A. Bédard, L. Corneau, A. Bélanger-Gravel, S. Desroches, C. Bégin, V. Provencher, S. Lemieux // *Appetite*. — 2019. — Vol. 143. URL: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104392>.
122. Turner-McGrievy, G. The Nutritious Eating with Soul (NEW Soul) Study: Study design and methods of a two-year randomized trial comparing culturally adapted soul food vegan vs. omnivorous diets among African American adults at risk for heart disease / G. Turner-McGrievy, S. Wilcox, E. Frongillo, A. Murphy, B. Hutto, K. Williams, A. Crimmarco, M. Wilson, M. Davey // *Contemporary Clinical Trials*. — 2020. — Vol. 88. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cct.2019.105897>.
123. Turnwald, B. Smart food policy for healthy food labeling: Leading with taste, not healthiness, to shift consumption and enjoyment of healthy foods / B. Turnwald, A. Crum // *Preventive Medicine*. — 2019. — Vol. 119. — P. 7–13. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2018.11.021>.
124. Vecchio, R. Increasing healthy food choices through nudges: A systematic review / R. Vecchio, C. Cavallo // *Food Quality and Preference*. — 2019. — Vol. 78. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.05.014>.
125. Wetherill, M. Nutrition-Focused Food Banking in the United States: A Qualitative Study of Healthy Food Distribution Initiatives / M. Wetherill, K. White, H. Seligman // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. — 2019. — Vol. 119. — Issue 10. — P. 1653–1665. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.04.023>.

126. Winger, R. Food product innovation: A background paper / R. Winger, G. Wall // Agricultural and Food Engineering Working Document. — 2006. — № 2. — P. 311–318.
127. Winitz, M. Studies in metabolic nutrition employing chemically defined diets: Extended feeding of normal human adult males / M. Winitz, D. Seedman, J. Graff // American Journal of Clinical Nutrition. — 1970. — Vol. 23. — P. 525–545.
128. Wolfson, J. Barriers to healthy food access: Associations with household income and cooking behavior / J. Wolfson, R. Ramsing, C. Richardson, A. Palmer // Preventive Medicine Reports. — 2019. — Vol. 13. — P. 298–305. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2019.01.023>.
129. Zanini, B. A new self-administered semi-quantitative food frequency questionnaire to estimate nutrient intake among Italian adults: Development design and validation process / B. Zanini, A. Simonetto, P. Bertolotti, M. Marullo, S. Marconi, C. Becchetti, G. Gilioli, A. Valerio, F. Donato, C. Ricci, M. Castellano // Nutrition Research. — 2020. — Vol. 99. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.05.008>.
130. Zeballos, E. Do how you pay influence the share of healthy items that you Buy? Assessing differences in nutritional quality of food purchases by payment type / E. Zeballos, L. Mancino, B. Lin // Food Policy. — 2020. — Vol. 92. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101886>.
131. Апрятин, С. А. Использование постгеномных технологий и *in vivo* моделей в исследовании алиментарно-зависимых заболеваний / С. А. Апрятин, Н. В. Трусков, К. В. Мжельская, А. С. Балакина, Х. С. Сото, Н. А. Ригер, В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Н. А. Бекетова, О. В. Кошелева, С. Н. Леоненко, В. С. Евстратова, В. А. Шипелин, Н. В. Кирбаева, А. А. Шумакова, А. Д. Евстратова, И. В. Гмошинский // Вопросы питания. — 2018. — Т. 87, № 5. — С. 22–23. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10102.
132. Апрятин, С. А. Нейронутрициология: перспективное современное направление исследований алиментарно-зависимых заболеваний / С. А. Апрятин, В. А. Шипелин, Н. В. Кирбаева, Н. В. Трусков, Р. Р. Гайнетдинов // Вопросы питания. — 2018. — Т. 87, № 5. — С. 23–24. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10103.

133. Борисенко, А. А. Алгоритмы и комплекс программ для разработки рецептур и оценки качества нутриентной сбалансированности поликомпонентных пищевых продуктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Борисенко — Ставрополь, 2006. — 24 с.
134. Борисенко, А. А. Моделирование, разработка и оптимизация продуктов здорового питания : монография / А. А. Борисенко, Л. А. Сырычева, А. А. Борисенко (ст.). — Ставрополь : СевКавГТУ, 2012. — 196 с.
135. Борисенко, А. А. Теоретические и практические аспекты разработки рецептур нутриентно-сбалансированных мясных продуктов / А. А. Борисенко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. — 2016. — № 1 (36). — С. 58–63.
136. Борисенко, А. А. Компьютерное моделирование нутриентного состава поликомпонентных пищевых продуктов как способ их перевода в сегмент здорового питания / А. А. Борисенко, А. А. Брачихин, А. А. Борисенко, Л. А. Борисенко // Все о мясе. — 2019. — № 3. — С. 10–13. DOI: 10.21323/2071-2499-2019-3-54-57.
137. Бражников, А. М. Возможные подходы к аналитическому проектированию комбинированных продуктов питания / А. М. Бражников, И. А. Рогов, Н. А. Михайлов, М. Н. Сильченко // Изв. вузов. Пищевая технология. — 1985. — № 3. — С. 22–27.
138. Бражников, А. М. О возможности проектирования комбинированных мясных продуктов / А. М. Бражников, И. А. Рогов // Мясная индустрия СССР. — 1984. — № 5. — С. 23–25.
139. Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания : доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. — 89 с. URL: https://rospotrebnadzor.ru/files/Файлы/Нац-доклад_ИСПР%205.10=04..pdf (дата обращения: 08.05.2020).
140. Донскова, Л. А. Концептуальные основы разработки комбинированных мясных продуктов / Л. А. Донскова // Известия УрГЭУ. — 2013. — № 2. — С. 152–156. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-razrabotki-kombinirovannyh-myasnyh-produktov> (дата обращения: 10.06.2020).

141. Жаринов, А. И. Проектирование комбинированных продуктов питания / А. И. Жаринов, Ю. А. Ивашкин // Все о мясе. — 2004. — № 2. — С. 16–21.
142. Жминченко, В. М. Современные тенденции исследований в нутрициологии и гигиене питания / В. М. Жминченко, М. Г. Гаппаров // Вопросы питания. — 2015. — № 1. — С. 4–14. DOI: 10.24411/0042-8833-2015-00001.
143. Зеленина, Л. С. Разработка поликомпонентных пищевых систем методами компьютерного моделирования / Л. С. Зеленина, О. В. Зюзина // Бюллетень Тамбовского государственного технического университета. — 2011. — № 17 (4). — С. 992–1000. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-polikomponentnyh-pischevyh-sistem-metodami-kompyuternogo-modelirovaniya> (дата обращения: 11.06.2020).
144. Иванова, В. Н. Повышение качества пищевой продукции — ключевой приоритет реализации государственной политики Российской Федерации в области здорового питания / В. Н. Иванова, С. Н. Серегин // Пищевая промышленность. — 2016. — № 5. — С. 8–14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-pischevoy-produktsii-klyuchevoy-prioritet-realizatsii-gosudarstvennoy-politiki-rossiyskoy-federatsii-v-oblasti> (дата обращения: 05.05.2020).
145. Ивашкин, Ю. А. Моделирование производственных процессов в мясной и молочной промышленности / Ю. А. Ивашкин, И. И. Протопопов, А. В. Бородин. — М. : Агропромиздат, 1987. — 256 с.
146. Ивашкин, Ю. А. Решение некоторых задач по моделированию и оптимизации в биотехнологии / Ю. А. Ивашкин, А. В. Бородин // Теоретические основы химической промышленности. — 1996. — Т. 30, № 4. — С. 440–446.
147. Киселев, В. М. Новая парадигма организации питания сосредоточенных контингентов / В. М. Киселев, Е. Г. Першина // Техника и технология пищевых производств. — 2009. — № 2. — С. 50–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-paradigma-organizatsii-pitaniya-sosredotochennyh-kontingentov> (дата обращения: 10.06.2020).

148. Коденцова, В. М. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская // Вопросы питания. — 2016. — Т. 85, № 2. — С. 31–50. DOI: 10.24411/0042-8833-2016-00021.
149. Коденцова, В. М. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных микроэлементами пищевых продуктов и йодирования соли / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник // Микроэлементы в медицине. — 2015. — № 16 (4). — С. 3–20. DOI: 10.19112/2413-6174-2015-16-4-3-20.
150. Коденцова, В. М. Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987–2017 гг. / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // Вопросы питания. — 2018. — № 4. — С. 62–68. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10043.
151. Коденцова, В. М. Витамины / В. М. Коденцова. — М. : Медицинское информационное агентство, 2015. — 408 с.
152. Коденцова, В. М. Обеспеченность населения России микро-нутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // Вопросы питания. — 2017. — Т. 86, № 4. — С. 113–124. DOI: 10.24411/0042-8833-2017-00067.
153. Коденцова, В. М. Обогащение продуктов витаминами: медико-социальный и экономический аспекты / В. М. Коденцова, Д. В. Рисник, Д. Б. Никитюк // Пищевая промышленность. — 2017. — № 9. — С. 18–21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obogaschenie-produktov-vitaminami-mediko-sotsialnyy-i-ekonomicheskiy-aspekty> (дата обращения: 18.05.2020).
154. Краснов, А. Е. Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности: Системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования / А. Е. Краснов ; под ред. А. Е. Краснова, О. Н. Красули. — М. : ВНИИМП, 2001. — 496 с.
155. Красуля, О. Н. Интеллектуальные экспертные системы в практике решения прикладных задач пищевого производства : монография /

- О. Н. Красуля, А. В. Токарев, С. А. Грикшас, А. С. Шуварики, О. Н. Пастух. — Иркутск : ООО «Мегапринт», 2018. — 152 с.
156. Красуля, О. Н. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства / О. Н. Красуля, С. В. Николаева, А. В. Токарев и др. — СПб. : ГИОРД, 2015. — 320 с.
157. Липатов, Н. Н. Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности / Н. Н. Липатов, И. А. Рогов // Изв. вузов. Пищевая технология. — 1987. — № 2. — С. 9–15.
158. Липатов, Н. Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания / Н. Н. Липатов // Изв. вузов. Пищевая технология. — 1990. — № 6. — С. 5–10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-i-metody-proektirovaniya-retseptur-pischevyh-produktov-balansiruyuschih-ratsiony-pitaniya> (дата обращения: 11.06.2020).
159. Липатов, Н. Н. Принципы и методы проектирования рецептур продуктов, балансирующих рационы / Н. Н. Липатов // Изв. вузов. Пищевая технология. — 1990. — № 6. — С. 5–10.
160. Липатов, Н. Н. Совершенствование методики проектирования биологической ценности пищевых продуктов / Н. Н. Липатов, А. Б. Лисицын, С. В. Юдина // Хранение и переработка сельхозсырья. — 1996. — № 2. — С. 24–25.
161. Лисин П. А. Компьютерное моделирование производственных процессов в пищевой промышленности / П. А. Лисин. — СПб. : Лань, 2016. — 256 с.
162. Лисин, П. А. Компьютерные технологии в рецептурах расчетах молочных продуктов / П. А. Лисин. — М. : ДеЛи принт, 2007. — 102 с.
163. Лисин, П. А. Системный анализ сбалансированности продуктов питания (идеи, методы, решения) : монография [Электронный ресурс] / П. А. Лисин. — Электрон. дан. — Омск : ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017. — 1 электрон. опт. диск. (CD-R). — Систем. требования : ПК с процессором 1,3 ГГц или более высокий ; 1 ГБ доступного места на жестком диске ; 512 МБ оперативной памяти (рекомендуется 1 ГБ

- или больше) ; Microsoft Windows® XP Home, Professional или выше ; разрешение экрана 1024*768 ; Acrobat Reader 3.0 или выше ; CD-ROM дисковод ; клавиатура ; мышь. — Загл. с экрана.
164. Лисицын, А. Б. Задачи мясной индустрии в области здорового питания населения России на период до 2025 года / А. Б. Лисицын, А. В. Устинова // *Мясная индустрия*. — 2009. — № 10. — С. 4–8.
 165. Лисицын, А. Б. Законодательные основы и научные принципы создания функциональных пищевых продуктов на мясной основе / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина, Л. В. Федулова // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. — 2016. — № 12 (146). — С. 151–158.
 166. Лисицын, А. Б. Научное обеспечение инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности / А. Б. Лисицын // *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука: сб. материалов науч. конференции с междун. участием (Москва, 11-12 апр. 2017 г.)*. — М. : МГУПП, 2010. — С. 15–18.
 167. Лисицын, А. Б. Прогнозирование качества мясных изделий методами математического программирования / А. Б. Лисицын, М. А. Никитина, А. Н. Захаров, Е. Б. Сусь, В. В. Насонова, Л. И. Лебедева // *Theory and Practice of Meat Processing*. — 2016. — Т. 1, № 1. — С. 75–90. DOI: 10.21323/2114-441X-2016-1-75-90.
 168. Лисицын, А. Б. Роль агронауки в обеспечении населения России функциональными и диетическими продуктами / А. Б. Лисицын, А. В. Устинова, Н. А. Горбунова // *Все о мясе*. — 2007. — № 1. — С. 34–37.
 169. Лисицын, А. Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина // *Theory and Practice of Meat Processing*. — 2018. — Т. 3, № 1. — С. 29–45. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45.
 170. Лыгина, Н. И. Экономические факторы развития рынка функциональных пищевых продуктов / Н. И. Лыгина, О. В. Рудакова, Ю. П. Соболева // *Социально-экономические явления и процессы*. — 2014. — № 9 (11). — С. 115–121.

171. Маюрникова, Л. А. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности / Л. А. Маюрникова, А. А. Кокшаров, Т. В. Крапива, С. В. Новоселов // Техника и технология пищевых производств. — 2020. — Т. 50, № 1. — С. 124–139. URL: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>.
172. Муратова, Е. И. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания / Е. И. Муратова, С. Г. Толстых, С. И. Дворецкий, О. В. Зюзина, Д. В. Леонов. — Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2011. — 80 с.
173. Мусина, О. Н. Научные и прикладные аспекты целевого комбинирования сырья в производстве поликомпонентных молочных продуктов : дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 / Мусина Ольга Николаевна. — Екатеринбург, 2018. — 470 с.
174. Мусина, О. Н. Нетрадиционный алгоритм изучения состояния вопроса в пищевой отрасли / О. Н. Мусина // Техника и технология пищевых производств. — 2010. — № 1 (16). — С. 78–81. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/netraditsionnyy-algoritm-izucheniya-sostoyaniya-voprosa-v-pischevoy-otrasli> (дата обращения: 09.06.2020).
175. Мусина, О.Н. Поликомпонентные продукты на основе комбинирования молочного и зернового сырья : монография / О. Н. Мусина, М. П. Щетинин. — Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2010. — 244 с.
176. Мусина, О. Н. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания / О. Н. Мусина, П. А. Лисин // Техника и технология пищевых производств. — 2012. — № 4 (27). — С. 32–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-modelirovanie-mnog-okomponentnyh-produktov-pitaniya> (дата обращения: 12.06.2020).
177. Мусина, О. Н. Состояние и тенденции развития биотехнологии комбинированных молочных продуктов : монография / О. Н. Мусина, М. П. Щетинин, М. Н. Сахрынин. — Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2006. — 335 с.
178. Никитин, И. А. Научное обоснование методов проектирования продуктов и рационов персонализированного питания, их

- товароведная оценка : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. А. Никитин. — М., 2019. — 44 с.
179. Никитина, М. А. Многокритериальная оптимизация рецептурного состава продукта / М. А. Никитина, И. М. Чернуха // Теория и практика переработки мяса. — 2018. — № 3 (3). — С. 89–98. URL: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98>.
 180. Никитина, М. А. Моделирование как метод научного познания сложных мясных систем / М. А. Никитина, А. Н. Захаров, В. В. Насонова, А. Б. Лисицын // Theory and Practice of Meat Processing. — 2017. — Т. 2, № 3. — С. 66–78. DOI: 10.21323/2414-438X-2017-2-3-66-78.
 181. Никитюк, Д. Б. Антропонутириология в решении проблем здоровьесбережения и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний / Д. Б. Никитюк // Вопросы питания. — 2018. — Т. 87, № 5. — С. 68. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10154.
 182. Николаева, С. В. Системный анализ многокомпонентных пищевых объектов и технологий в условиях информационной неопределенности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. В. Николаева — М., 2013. — 56 с.
 183. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2009 году: Государственный доклад. — М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. — 456 с.
 184. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. — 206 с. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/22c/gd_2014_seb_dlya-sayta.pdf (дата обращения: 08.05.2020).
 185. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016. — 220 с. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/486/gd_2015_ds.pdf (дата обращения: 08.05.2020).

186. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. — 220 с. URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/0b3/gosudarstvennyy-doklad-2016.pdf> (дата обращения: 08.05.2020).
187. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. — 268 с. ISBN 978-5-7508-1626-2. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/d9d/gd_2017_seb.pdf (дата обращения: 08.05.2020).
188. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. — М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. — 254 с. ISBN 978-5-7508-1681-1. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno_epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018-godu.pdf (дата обращения: 08.05.2020).
189. Орещенко, А. В. Пищевая комбинаторика и генетическое здоровье человека / А. В. Орещенко. — М. : Пищепромиздат, 1999. — 207 с.
190. Орлов, Ю. Н. Цифровая нутрициология: спектральные портреты меню оптимального питания / Ю. Н. Орлов, А. А. Кислицын, А. О. Камбаров, А. К. Батулин, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // Научная визуализация. — 2020. — Т. 12, № 2. — С. 139–150. DOI: 10.26583/sv.12.2.11.
191. Оттавей, П. Б. Обогащение пищевых продуктов и биологически активные добавки. Технология, безопасность и нормативная база / П. Б. Оттавей. — СПб. : Профессия, 2010. — 312 с.
192. Позняковский, В. М. Эволюция питания и формирование нутриома современного человека / В. М. Позняковский // Индустрия питания. — 2017. — № 3 (4). — С. 5–12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-pitaniya-i-formirovanie-nutrioma-sovremennogo-cheloveka> (дата обращения: 15.06.2020).

193. Покровский, А. А. Роль биохимии в развитии науки о питании: Некоторые закономерности ассимиляции пищевых веществ на уровне клетки и целостного организма / А. А. Покровский. — М. : Наука, 1974. — 121 с.
194. Сатина, О. В. Информационные технологии проектирования продуктов геронтологического питания / О. В. Сатина, С. Б. Юдина // Мясная индустрия. — 2010. — № 6. — С. 56–58.
195. Свид. № 2011611470 о гос. регистрации программы для ЭВМ «Проектирование рецептуры» / И. А. Шмаков, О. Н. Мусина, М. Н. Сахрынин, М. П. Щетинин; правообладатели И. А. Шмаков, О. Н. Мусина, М. Н. Сахрынин, М. П. Щетинин. — № 2010618181 ; заявл. 23.12.2010 ; зарегистр. 14.02.2011 ; опубл. 20.06.2011.
196. Скальный, А. В. Нутрициология: основные понятия и термины : терминологический словарь / А. В. Скальный, И. А. Рудаков, С. В. Нотова, Т. И. Бурцева, В. В. Скальный, О. В. Баранова, С. Г. Губайдулина. — Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. — 49 с.
197. Таточенко, И. М. Количественная оценка реализации Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности на период до 2020 года / И. М. Таточенко, А. Л. Таточенко, Н. Ю. Чернегов // Modern Science. — 2020. — № 1–2. — С. 95–104.
198. Тутьельян, В. А. Эволюция и революции на пути формирования современной нутрициологии. Интегративная и цифровая нутрициология как ближайшее будущее / В. А. Тутьельян // Вопросы питания. — 2018. — Т. 87, № 5. — С. 21–22. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10101.
199. Тутьельян, В. А. Научные основы здорового питания / В. А. Тутьельян, А. И. Вялков, А. Н. Разумов, В. И. Михайлов, К. А. Москаленко, А. Г. Одинец, В. Г. Сбежнева, В. Н. Сергеев. — М. : Изд. дом «Панорама», 2010. — 816 с.
200. Тутьельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания : справочник / В. А. Тутьельян. — М. : ДеЛи плюс, 2012. — 284 с.
201. Уголев, А. М. Теория адекватного питания и трофология / А. М. Уголев. — Л. : Наука, 1991. — 272 с.

202. Хабибуллин, Р. Э. Современные программы автоматизированного расчета рецептур комбинированных пищевых продуктов / Р. Э. Хабибуллин, С. А. Жаксылыкова, О. А. Решетник // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — № 21. — С. 257–260. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-programmy-avtomatizirovannogo-raschyota-retseptur-kombinirovannyh-pischevyh-produktov> (дата обращения: 17.06.2020).
203. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов : справочник МакКанса и Уиддоусона / пер. с англ. под ред. А. К. Батурина. — СПб. : Профессия, 2006. — 416 с.
204. Храмцов, А. Г. Информационное обеспечение наилучших доступных технологий пищевой промышленности : монография / А. Г. Храмцов, А. А. Брацихин, А. А. Борисенко, Л. А. Борисенко, И. А. Евдокимов, С. А. Рябцева, А. Д. Лодыгин, А. А. Борисенко. — СПб. : ГИОРД, 2019. — 312 с.
205. Шатерников, В. А. Медико-биологические аспекты проблемы обогащения пищевых белков / В. А. Шатерников // Теоретические и клинические аспекты науки о питании : сб. науч. тр. Т. 1. — М. : Институт питания АМН СССР, 1980. — С. 134–160.
206. Школьников, М. Н. Автоматизированные информационные системы подбора рецептур пищевых продуктов / М. Н. Школьников, Д. А. Наумова // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья : сб. науч. статей и докладов II Междун. науч.-практ. конф. (26–27 октября 2016 г.). — Воронеж : Изд.-полиграф. центр «Научная книга», 2016. — С. 139–141.
207. Юдина, С. Б. Создание геродиетических продуктов питания / С. Б. Юдина // Мясная индустрия. — 2014. — № 10. — С. 32–35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22794586>.

Глоссарий⁶⁹

Адаптивность — способность живой материи на всех уровнях организации адаптироваться к меняющимся условиям внешней и внутренней среды с помощью различных приспособительных механизмов.

Адекватность питания — соответствие химического состава, калорийности и объема рациона возрастным потребностям и особенностям организма.

Адекватный уровень потребления — уровень суточного потребления пищевых и биологически активных веществ, установленный на основании расчетных или экспериментально определенных величин.

Азотистый баланс — показатель уровня азотистого обмена; разность между количеством поступающего в организм азота и количеством выводимого азота (с мочой, калом, потом).

Азотистый обмен — обмен азотсодержащих веществ (белки, нуклеиновые кислоты, аминокислоты); нарушения азотистого обмена нередко обусловлены неполноценным питанием, а также нарушениями функций печени и кишечника.

Аланин — альфа-аминопропионовая кислота, заменимая аминокислота; в организме в свободном состоянии содержится в плазме крови, один из источников образования глюкозы.

Алиментарные заболевания — болезни, связанные с неправильным (нерегулярным, несбалансированным или неполноценным) питанием или с употреблением недоброкачественной пищи.

Алиментарный (от лат. alimentarius — пищевой) — относящийся к пище, к питанию.

⁶⁹ По материалам: ГОСТ Р 52349–2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения; О качестве и безопасности пищевых продуктов : федер. закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ; Лисин П. А. Системный анализ сбалансированности продуктов питания (идеи, методы, решения) : монография. Электрон. дан. Омск : ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017. 1 электрон. опт. диск. (CD-R). Загл. с экрана; Скальный А. В., Рудаков И. А., Нотова С. В. и др. Нутрициология: основные понятия и термины : терминологический словарь. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. 49 с.

Альбумины — простые глобулярные белки, осуществляющие в организме транспортную функцию (связывание и перенос микроэлементов, витаминов, гормонов).

Амилазы — пищеварительные ферменты, катализирующие расщепление углеводов (крахмал, гликоген).

Аминокислоты — азотсодержащие органические кислоты, являющиеся основными структурными единицами белков и определяющие их биологическую специфичность и пищевую ценность; нарушение обмена аминокислот является причиной многих болезней.

Аминокислоты заменимые — могут быть синтезированы в организме человека из безазотистых продуктов и аммонийного азота (аланин, серин, тирозин, глицин, цистеин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, аргинин, аспарагин, глутамин, гистидин, пролин).

Аминокислоты незаменимые — не синтезируются в организме человека или синтезируются в недостаточном количестве (валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, цистеин, треонин, триптофан, фенилаланин, тирозин).

Аминокислотный скор (АС) — отношение количества каждой незаменимой аминокислоты в испытуемом белке к количеству этой же аминокислоты в гипотетическом белке с идеальной аминокислотной шкалой.

Антиокислители (*син.* антиоксиданты) — природные или синтетические вещества (витамины, ненасыщенные жирные кислоты и др.), обладающие способностью замедлять или предотвращать чрезмерное окисление органических соединений; в организме снижают риск развития различных заболеваний, в том числе связанных с действием химических, бактериологических и других вредных факторов окружающей среды.

Аппетит — ощущение, связанное с потребностью в пище; при длительном отсутствии пищи переходит в ощущение голода.

Аргинин — диаминомонокарбоновая кислота, заменимая аминокислота (для детей — незаменимая аминокислота); участвует в важных ферментативных реакциях (образование мочевины и орнитина, креатина, аргинифосфата и др.).

Аспарагин — амид аспарагиновой кислоты, заменимая аминокислота; присутствует в организме в составе белков и в свободном виде.

Аспарагиновая кислота — моноаминодикарбоновая кислота, заменимая аминокислота; в организме играет важную роль в реакциях цикла мочевины, переаминировании.

Ассимиляция (*син.* анаболизм) — процесс усвоения организмом веществ, поступающих из окружающей среды, в результате чего эти вещества или их метаболиты становятся составной частью биологических структур или депонируются в организме.

Безопасность пищевых продуктов — состояние обоснованной уверенности в том, что пищевые продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений.

Белковый обмен — вид обмена, включающий процессы поступления белков с пищей, их расщепления, транспорта образующихся аминокислот, синтеза свойственных данному организму белков, их распада и выведения конечных продуктов из организма.

Бета-каротин — жирорастворимое соединение из группы каротиноидов, пигмент оранжевого цвета, предшественник витамина А в организме. Источником бета-каротина служат овощи, фрукты и зелень (морковь, лук, красный перец, шиповник, помидоры, абрикосы, дыни, петрушка, шпинат, укроп и др.).

Биологическая ценность — показатель качества пищевого белка, отражающий степень соответствия его аминокислотного состава потребностям организма в аминокислотах для синтеза белка.

Биологически активные вещества (БАВ) — общее название химических соединений, участвующих в осуществлении каких-либо функций организма (например, ферменты, витамины, гормоны и др.).

Биологически активные добавки к пище (биодобавки, БАД) — концентраты природных (или идентичных природным) биологически активных веществ, предназначенные для непосредственного приема с пищей или введения в состав пищевых продуктов. БАД используются для повышения неспецифической сопротивляемости организма, снижения риска развития заболеваний и обменных нарушений, осуществления (в физиологических границах) регуляции функций организма. По составу ингредиентов и действию на организм различают несколько видов БАД — нутрицевтики, парафармацевтики, эубиотики и др.

Биотехнология — совокупность методов получения полезных для человека продуктов (пища, лекарства) с помощью биологических агентов.

Валин — моноаминомонокарбоновая кислота (альфа-аминоизовалериановая кислота), незаменимая аминокислота; содержится в молочных продуктах, мясе, зернах хлебных злаках, сое, грибах, арахисе. Валин необходим для поддержания нормального азотистого баланса в организме, используется в качестве источника энергии для мышц.

Витамин В₁ (*син.* тиамин) — водорастворимый витамин; при длительном кипячении большая часть витамина разрушается. Содержится преимущественно в продуктах растительного происхождения: в злаках, крупах (овес, гречиха, пшено), муке грубого помола; особенно много витамина в ростках зерна, в отрубях, в бобовых, в дрожжах. В организме тиамин входит в состав ферментов, регулирующих углеводный обмен и обмен аминокислот.

Витамин В₁₂ (*син.* цианокобаламин) — водорастворимый витамин; устойчив к действию повышенных температур, но теряется в процессе кулинарной обработки пищи при удалении с мясными соками и водой. Содержится в животных продуктах — печени, почках, сердце, сое, рыбе, морской капусте, в меньшей степени — в молоке, отсутствует в растительных продуктах. В организме входит в состав ряда ферментов, необходим для нормального кроветворения, увеличивает потребление кислорода клетками при гипоксии, понижает уровень холестерина в крови.

Витамин В₂ (*син.* рибофлавин) — водорастворимый витамин, поступает в организм с продуктами растительного и животного происхождения (зеленый горошек, листовые овощи, капуста, помидоры, гречневая и овсяная крупа, пшеничный хлеб, шиповник, а также дрожжи, мясо, печень, почки, коровье молоко, яйца, рыба); синтезируется также микрофлорой толстого кишечника. В организме рибофлавин входит в состав ферментов, обеспечивающих обмен углеводов, белков, жиров; оказывает положительное действие на ЦНС, кожу и слизистые оболочки.

Витамин В₄ (*син.* холин) — витаминоподобное вещество. Натуральные источники холина — желток куриного яйца, мозги, сердце, зеленые листовые овощи, дрожжи, печень, пшеничные зародыши. Холин способствует утилизации жиров и холестерина, тормозит развитие атеросклероза в старческом возрасте. Улучшает функции печени, в частности выведение из организма токсических веществ.

Витамин В₅ (*син.* витамин РР, никотиновая кислота, ниацин) — бета-пиридинкарбоновая кислота, водорастворимый витамин; устойчив при нагревании, воздействии света, воздуха и щелочей. Содержится преимущественно в продуктах животного происхождения (печень, почки,

постное мясо, рыба, яйца), в меньшей степени — в хлебных изделиях из муки грубого помола, в крупах (особенно гречневой), в бобовых и грибах. В организме никотиновая кислота активизирует углеводный и нормализует холестеринный обмен, повышает эффективность усвоения растительных белков, участвует в окислительно-восстановительных процессах и т. д.

Витамин В₆ (*син.* пиридоксин) — водорастворимый витамин; под этим названием объединяется целая группа родственных веществ. Чувствителен к действию света; кулинарная обработка пищевых продуктов может сопровождаться значительными потерями витамина. Содержится во многих продуктах, таких как говяжья печень, свинина, телятина, птица, рыба, бобовые, крупы (гречневая, пшеница, ячневая), перец, картофель, хлеб (из крупы грубого помола), морковь, помидоры и т. д.; частично может синтезироваться микрофлорой кишечника. В организме участвует в обмене аминокислот, холестерина и жирных кислот, необходим для нормального белкового обмена.

Витамин В₈ (*син.* инозитол) — витаминоподобное вещество, усиливающее действие аскорбиновой кислоты; содержится в печени, пивных дрожжах, говяжьем мозге и сердце, в дыне, грейпфрутах, изюме, арахисе, капусте. В организме вместе с холином участвует в образовании лецитина, поддержании нормального жирового обмена (в частности в печени), играет важную роль в питании клеток мозга.

Витамин В₉ (*син.* фолиевая кислота, витамин В_с) — водорастворимый витамин; в животных продуктах содержится в очень небольшом количестве. Из растительных продуктов удовлетворительными источниками фолиевой кислоты могут служить салат, картофель, томаты, бобы, фасоль, пшеница, рожь, зародыши пшеницы, капуста, свекла, а также яичный желток, пекарские и пивные дрожжи. Биологически активную форму этот витамин приобретает лишь в процессе пищеварения. При нормальном составе микрофлоры в кишечнике организм может синтезировать фолиевую кислоту самостоятельно. Фолиевая кислота участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, в метаболизме аминокислот. Витамин необходим для нормального функционирования ЦНС и костного мозга.

Витамины D, D₂, D₃ (*син.* кальциферолы) — группа жирорастворимых витаминов стероидной структуры, относительно устойчивых при хранении продуктов и их кулинарной обработке. Кальциферолы содержатся в животных продуктах (сыр, сливочное масло,

молоко, яичный желток, печень, рыбий жир, жирная рыба), а также образуются из предшественников (стеринов) в коже под влиянием ультрафиолетовых лучей. В организме витамин D участвует в фосфорно-кальциевом обмене, способствует всасыванию кальция в тонком кишечнике и отложению его в костях. Играет важную роль в иммунных реакциях, в дифференцировке клеток кожи и кровяных клеток, в секреции инсулина и синтезе пигмента меланина.

Витамин Е (*син.* токоферолы) — жирорастворимый витамин, достаточно стойкий при варке, сушке, консервировании и стерилизации продуктов. Однако токоферол очень чувствителен к свету, поэтому содержащие витамин растительные масла следует хранить в затемненной стеклянной посуде и не допускать их прогоркания. Лучшие растительные источники витамина Е — проростки зерен ржи и пшеницы, зеленый горох, фасоль, соя, чечевица, зеленый салат, овес, кукуруза, оливковое, кукурузное и соевое масло. Токоферол участвует в обмене углеводов, белков и жиров, стимулирует деятельность мышц, повышает физическую работоспособность и выносливость, благотворно влияет на работу половых желез; основным депо витамина Е в организме является жировая ткань.

Витамин F (полиненасыщенные жирные кислоты, ПНЖК) — линолевая, линоленовая, арахидоновая и др., являющиеся важным компонентом структуры клеточных мембран; активно участвуют в липидном и энергетическом обмене, способствуют переводению холестерина в растворимую форму и повышению эластичности стенки сосудов, положительно влияют на состояние кожи, обладают антиоксидантным и антимуtagenным действием на клетки. Натуральные источники ПНЖК — растительные масла из завязи пшеницы, льняного семени, подсолнечника, соевых бобов и арахиса, грецкие орехи, миндаль, авокадо.

Витамин К (*син.* филлохиноны) — жирорастворимый витамин, достаточно устойчивый к воздействию тепла. Основной источник витамина К — зеленые листовые овощи, капуста, кабачки, помидоры, растительные масла, соевые бобы, зеленый чай; в молоке, мясе и фруктах витамина содержится меньше. Витамин К участвует в процессах свертывания крови, необходим для синтеза протромбина (белок, необходимый для формирования кровяного сгустка). Дефицит витамина может развиваться после длительного курса антибиотикотерапии (в результате уничтожения нормальной кишечной микрофлоры).

Витамин А (*син.* ретинол) — жирорастворимый витамин; на воздухе может частично окисляться при воздействии света и тепла. Содержится только в продуктах животного происхождения — печени трески, рыбьем жире, яичном желтке, молоке. Ретинол необходим для процессов роста, клеточной дифференцировки и воспроизводства, функционирования иммунной системы, поддержания нормальной остроты зрения; обладает антиоксидантными свойствами.

Витамин В₃ (*син.* пантотеновая кислота) — водорастворимый витамин, легко разрушается при нагревании в щелочных и кислых растворах. Натуральные источники — мясо, цельное зерно, лесной орех, завязь пшеницы, почки, печень, сердце, зеленые овощи, пивные дрожжи, отруби, яичный желток, куриное мясо; частично синтезируется в организме человека. Биологическая роль витамина определяется наличием в его структуре коэнзима А, важнейшей функцией которого является способность превращать холин в ацетилхолин, а также участием в процессах тканевого метаболизма.

Витамин Н (*син.* биотин) — водорастворимый витамин; много биотина содержится в соевых бобах, цветной капусте, облепихе, зеленом горошке, зеленом чае, черноплодной рябине, петрушке, сливах и яблоках, в желтке куриного яйца, дрожжах, говяжьей печени, свиных почках; кроме того, биотин синтезируется нормальной микрофлорой кишечника. Игрет ключевую роль в процессах обмена углеводов, жиров и белков; является коферментом, участвующим в реакциях переноса CO₂. Недостаток биотина в организме может возникнуть как следствие подавления кишечной микрофлоры антибиотиками, а также при употреблении большого количества сырых яичных белков, которые прочно связываются с биотином и мешают его усвоению.

Витамин Р (*син.* биофлавоноиды) — витаминоподобные вещества (рутин, кахетин, гесперидин и др.). Концентрируются в коже или кожице большинства фруктов и овощей; много биофлавоноидов в черноплодной рябине, черной смородине, вишне, черешне, гранатах, бруснике, айве. Значительное количество витамина Р содержится в чае, кофе, пиве, вине. Биофлавоноиды укрепляют капилляры, стимулируют дыхание тканей, способствуют накоплению в них витамина С; проявляют антиоксидантное, антиаллергическое действие.

Витамин С (*син.* аскорбиновая кислота) — водорастворимый витамин, антиоксидант, один из «ключевых» для организма витаминов; содержится во многих растениях (особенно богаты витамином

С шиповник, черная смородина, сладкий перец, петрушка, укроп). Участвует в тканевом дыхании, окислительно-восстановительных процессах, образовании и обмене нуклеиновых кислот, синтезе белка; предупреждает накопление свободных радикалов и перекисей в тканях, обеспечивает нормальную проницаемость капилляров, увеличивает сопротивляемость организма к инфекционным заболеваниям, воздействию токсических веществ, перегреванию, охлаждению и кислородному голоданию.

Витаминизация — обогащение витаминами пищевых продуктов и/или готовой пищи для повышения их биологической ценности; система мероприятий, направленная на повышение потребления витаминов определенными группами населения (например, детьми, учащимися и т. д.).

Витамины — эссенциальные микронутриенты, участвующие в регуляции и ферментативном обеспечении большинства метаболических процессов. Поступают в организм с пищевыми продуктами, в которых находятся в свободном или связанном состоянии, а также в виде провитаминов. Частично синтезируются в организме человека, преимущественно в кишечнике, с участием нормальной кишечной микрофлоры (нормофлоры). Участвуют в регуляции биохимических и физиологических процессов в организме. Отсутствие или недостаток витаминов в продуктах питания, а также нарушения витаминного обмена в организме приводят к развитию патологических состояний (гипо- и авитаминозы).

Витаминоподобные вещества — вещества животного и растительного происхождения с доказанной ролью в обмене веществ и энергии, сходные по своему физиологическому действию с витаминами.

Витамины водорастворимые — термолabile, разрушаются в основной среде и устойчивы в кислой среде, не накапливаются в организме; к этой группе относятся аскорбиновая кислота (витамин С), никотиновая кислота (витамин РР), витамины группы В — тиамин (витамин В₁), рибофлавин (витамин В₂), никотиновая кислота (витамин В₃), пиридоксин (витамин В₆), цианокобаламин (витамин В₁₂), фолиевая кислота, пантотеновая кислота (витамин В₃), биотин (витамин Н).

Витамины жирорастворимые — относительно устойчивы к нагреванию, могут накапливаться в организме; в эту группу входят ретинол (витамин А), кальциферол (витамин D), филлохинол (витамин К),

токоферол (витамин E); сюда же относят и комплекс полиненасыщенных жирных кислот, обозначаемый как витамин F.

Водно-солевой обмен — совокупность процессов поступления, всасывания, превращения в организме и выведения воды и минеральных солей.

Водный обмен — процесс поступления, превращения в организме и выведения воды.

Всасывание (*син.* абсорбция) — активный физиологический процесс прохождения веществ (свободные жирные кислоты, аминокислоты и др.) через стенку кишечника в кровяное русло. Всасывание осуществляется на всем протяжении пищеварительного тракта: в ротовой полости начинают всасываться моносахариды, в желудке — вода и алкоголь, в тонком кишечнике — продукты метаболизма белков, жиров, большинство поступающих с пищей водо- и жирорастворимых витаминов. Углеводы всасываются только в виде моносахаров, при этом присутствие в кишечном соке солей натрия повышает скорость всасывания более чем в 100 раз.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) — специализированное учреждение Организации Объединенных Наций, созданное в 1946 г.; основной задачей ВОЗ является достижение всеми народами возможно высшего уровня здоровья.

Гигиена питания (*син.* гигиена пищевая) — отрасль гигиены, занимающаяся изучением качества пищевых продуктов и их влияния на организм человека, разрабатывающая нормативы, требования и рекомендации по их изготовлению, хранению и применению (режиму питания, составу рациона, качеству блюд).

Гипервитаминоз — общее название патологических состояний, развивающихся вследствие интоксикации организма при избыточном поступлении и/или накоплении витаминов.

Гиповитаминоз (*син.* авитаминоз) — патологическое состояние, возникающее вследствие длительной недостаточности (отсутствия) витамина в пище или нарушения его усвоения; в результате авитаминозов могут развиваться цинга, бери-бери и некоторые другие болезни.

Гипогликемия — пониженное содержание глюкозы в крови.

Гистидин — гетероциклическая аминокислота; незаменимая аминокислота для растущего организма. Присутствует почти во всех белках, входит в состав активных центров ряда ферментов. Способствует росту и восстановлению тканей. Является исходным веществом при

биосинтезе гистамина и биологически активных пептидов мышц — карнозина и анзерина. Недостаток гистидина в организме ухудшает деятельность ЦНС, а также может сопровождаться кожными нарушениями, развитием экзем.

Гликоген — высокомолекулярный полисахарид, резерв углеводов в организме.

Гликолитическая активность — способность микроорганизмов сбраживать лактозу в молочную кислоту.

Глицин — аминокислота; заменимая аминокислота. Входит в состав многих белков и биологически активных соединений (глутатион, креатин и др.); в свободном состоянии встречается в тканях всех живых организмов. Участвует в биосинтезе пуринов, порфиринов, креатинина; источник аминного азота в реакциях переаминирования. Улучшает обменные процессы в тканях мозга.

Глобулины — общее название белков, составляющих около 40 % всех белков сыворотки крови и различных по функциям в организме; например, иммуноглобулины человека и животных выполняют функции антител.

Глутамин — полуамид глутаминовой кислоты; заменимая аминокислота. В организме находится в составе белков или в свободном виде. Играет важную роль в азотистом обмене. Участвует в биосинтезе триптофана, гистидина, пуринов, фолиевой кислоты. Биосинтез глутамин в организме сопровождается связыванием аммиака, что особенно важно для клеток головного мозга.

Глутаминовая кислота — альфа-аминоглутаровая кислота; важнейшая заменимая кислота. Входит в состав практически всех природных белков и других БАВ (глутатион, фолиевая кислота, фосфатиды), присутствует в организме в свободном виде. Непосредственно участвует в реакциях переаминирования, играет ключевую роль в азотистом обмене. В клетках ЦНС участвует в переносе ионов калия и обезвреживает аммиак.

Гомеостаз (др.-греч. «μοιοστάσις от μοιος» — одинаковый, подобный; «στάσις» — стояние, неподвижность) — саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Относительное постоянство внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма.

Гормоны — группа различных по химическому составу веществ (белки, пептиды, стероиды, жирные кислоты), вырабатываемых преимущественно эндокринными железами и обладающих высокой биологической активностью; гормоны характеризуются специфичностью действия (оказывают эффект только на определенные органы — «мишени»).

Гормоны пищеварительные — биологически активные полипептиды, секретируемые слизистой оболочкой желудочно-кишечного тракта (гастрин, энтерогастрон и др.); регулируют выделение пищеварительных секретов.

Диета — рацион и режим питания.

Диетология (диетика) — раздел нутрициологии, изучающий питание человека в норме и при патологических состояниях, разрабатывающий основы рационального питания и методы его организации.

Дисперсность (лат. «disperses» — рассеянный, рассыпанный) — степень раздробленности вещества на частицы (чем мельче частицы, тем больше дисперсность).

Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) — часть пищеварительной системы, включающая полость рта (глотку), пищевод, желудок, тонкую и толстую кишку, в которых происходят механическая и химическая обработка и всасывание пищи. Пищеварительный тракт обеспечивает продвижение, механическую и химическую обработку пищи, всасывание пищевых веществ и выведение непереваренных остатков пищи.

Жирные кислоты — органические кислоты, входящие в состав липидов животных и растений (молоко и молочные продукты, мясо, яйца, рыба, растительные масла и т. д.).

Жировой обмен — часть липидного обмена, соответствующая этапам превращения нейтральных жиров.

Жиры — органические соединения, представляющие собой полные сложные эфиры глицерина и высших жирных кислот. В пищу употребляются жиры различных животных, птиц и рыб, молочный жир (главным образом сливочное и топленое масло), а также жиры растительного происхождения (подсолнечное, соевое, оливковое и другие масла). С жирами в организм поступают необходимые вещества — витамины А, D, E, полиненасыщенные жирные кислоты, лецитин и др. При переваривании жиры расщепляются с образованием жирных кислот; в организме человека используются как энергетический, пластический и теплоизоляционный материал.

Здоровый образ жизни — поведение человека, исключаящее или сводящее к минимуму число вредных воздействий на его организм и включающее правильное питание, достаточную двигательную активность, режим сна и отдыха, оздоровительные процедуры и пр.

Здоровье — состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов (из Устава ВОЗ).

Идеальный белок — расчетная формула белка с оптимальным содержанием аминокислот (ФАО/ВОЗ).

Изолейцин — моноаминомонокарбоновая кислота, незаменимая аминокислота; входит в состав практически всех белков, необходима для процессов роста.

Каротиноиды — желтые, оранжевые или красные пигменты, синтезируемые бактериями, грибами и высшими растениями; некоторые из каротиноидов являются предшественниками витамина А.

Качество пищевых продуктов — совокупность характеристик безопасных пищевых продуктов, отвечающих требованиям, установленным в соответствии с законодательством Российской Федерации, условиям договора, образцу, документам по стандартизации, технической документации, определяющим их потребительские свойства, пищевую ценность, аутентичность, сортность (калибр, категорию и иное) и удовлетворяющих физиологические потребности человека.

Клеточная оболочка (*син.* клеточная мембрана) — оболочка, покрывающая поверхность клетки, обеспечивающая ее целостность и участвующая в регуляции обмена веществ между клеткой и окружающей средой.

Коагуляция (от лат. «coagulatio» — свертывание, сгущение) — объединение мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления.

Компонент — вещество животного, растительного, микробного или минерального происхождения, а также природные или синтезированные пищевые добавки, используемые при подготовке или производстве пищевого продукта или присутствующие в готовом продукте в исходном или неизменном виде.

Консистенция — совокупность реологических свойств вязкой жидкости, вязкоэластичного или вязкопластичного тела, степень твердости, плотности продукта.

Консорциум (от лат. «consortium» — соучастие, сообщество) — объединение, сосуществование.

Лактоза (син. молочный сахар) — дисахарид (соединение D-галактозы и D-глюкозы), содержащийся в молоке.

Лактулоза — дисахарид, состоящий из фруктозы и галактозы; стимулирует размножение нормальной микрофлоры кишечника, способствует подавлению болезнетворных микроорганизмов.

Лейцин — альфа-аминоизокапроновая кислота, незаменимая аминокислота, содержащаяся во всех белках (мясо, соевая мука, бобы, рис, лесные орехи); является важным звеном в биосинтезе холестерина и других стероидов. При недостатке лейцина уменьшается масса тела, возникают изменения в почках и щитовидной железе.

Лецитин — основной структурный компонент оболочки клетки, содержащий насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты и их эфиры, большое количество фосфора, холин и другие соединения; значительное количество лецитина содержится в гречневой крупе, пшеничных отрубях, салате, много его в сое, фасоли и других зернобобовых. Лецитин стимулирует рост, благоприятно влияет на деятельность нервной системы, печени, повышает сопротивляемость к действию токсических веществ, улучшает усвоение жиров, препятствует развитию атеросклероза.

Лизин — диаминокапроновая кислота; незаменимая аминокислота; входит в состав практически всех животных белков. Ограниченное содержание лизина в белках растительного происхождения снижает их пищевую ценность. Недостаток лизина в организме может привести к задержке роста, расстройствам кровообращения, снижению содержания гемоглобина в крови.

Линолевая кислота — незаменимая жирная кислота, входит в состав липидов биологических мембран; нарушения метаболизма линолевой кислоты или недостаток ее в пище являются причиной ряда заболеваний.

Линоленовая кислота — незаменимая жирная кислота; нарушения обмена линоленовой кислоты наблюдаются при сахарном диабете и некоторых других заболеваниях.

Липазы — пищеварительные ферменты, катализирующие расщепление жиров.

Липидный обмен — вид обмена, включающий процессы переваривания липидов, всасывания жирных кислот и моноглицеридов, биосинтеза специфичных липидов, их расщепления и выделения конечных продуктов.

Липиды — природные органические соединения, включающие жиры и жироподобные вещества; липиды являются одним из основных компонентов клеточных мембран, образуют энергетический резерв организма, участвуют в передаче нервного импульса.

Липоевая кислота — витаминоподобное вещество, способствующее нейтрализации воздействия свободных радикалов.

Липолиз — превращение жирных кислот молочного жира в кетокислоты, кетоны и сложные эфиры, некоторые из них обуславливают вкус и запах.

Макронутриенты (от греч. «macros» — большой и лат. «nutritio» — питание) — пищевые вещества, нужные организму в больших количествах (измеряемых граммами ежедневно). Макронутриенты — это белки, жиры, углеводы, которые обеспечивают пластические, энергетические и иные потребности организма.

Метаболизм — обмен веществ; в более узком смысле метаболизм — промежуточный обмен, охватывающий всю совокупность реакций (главным образом ферментативных), протекающих в клетках и обеспечивающих как расщепление сложных соединений, так и их синтез, взаимопревращение.

Метаболиты — промежуточные продукты обмена веществ.

Метионин — L-альфа-амино-гамма-метилмеркапто-масляная кислота, незаменимая серосодержащая кислота; входит в состав большинства белков. Участвует в процессах ферментативного метилирования, приводящих к образованию холина, адреналина и других биологически важных соединений. Участвует в витаминном обмене (витамин В₁₂, фолиевая кислота), в обмене жиров и фосфолипидов, проявляет липотропное действие. Является источником серы для биосинтеза цистеина. Недостаток метионина в пище приводит к нарушению биосинтеза цистеина, белков, замедлению роста и развития организма, к тяжелым функциональным расстройствам.

Микронутриенты (от греч. «micros» — малый и лат. «nutritio» — питание) — пищевые вещества, нужные организму в малых количествах. Суточная потребность в этих веществах часто измеряется долями граммов (миллиграммами и микрограммами). Микронутриенты представлены витаминами, некоторыми минеральными веществами и микроэлементами. Микронутриенты не являются источниками энергии, но участвуют в усвоении пищи, а также в регуляции различных функций и осуществлении процессов роста, адаптации и развития организма.

Минеральный обмен — вид обмена, включающий процессы поступления, связывания, распределения, превращения в организме и выделения неорганических веществ.

Минорные биологически активные вещества — вещества различного химического строения, присутствующие в пищевых продуктах (флавоноиды, индолы, органические кислоты и др.), обладающие специфическим (протекторным, регуляторным) влиянием на разнообразные функции отдельных метаболических систем и организма в целом.

Модель (от лат. «modulus» — мера, образец) — объект или явление, аналогичные, т. е. в достаточной степени повторяющие свойства моделируемого объекта или явления (прототипа), существенные для целей конкретного моделирования и опускающие несущественные свойства, в которых они могут отличаться от прототипа. Модель в науке — любой образ, аналог какого-либо объекта, процесса или явления.

Недостаточность питания — несоответствие энергетической ценности пищи и/или содержания отдельных пищевых веществ в рационе физиологическим потребностям организма; недостаточность питания приводит к возникновению алиментарных заболеваний.

Незаменимые (эссенциальные) пищевые вещества — не образуются в организме человека и обязательно поступают с пищей для обеспечения его жизнедеятельности. Их дефицит в питании приводит к развитию патологических состояний.

Нутриенты (син. пищевые вещества) — органические и неорганические вещества, входящие в состав пищевых продуктов (белки, аминокислоты, жиры, углеводы, витамины, макро- и микроэлементы, минеральные вещества, пищевые волокна) и используемые организмом для обеспечения своей жизнедеятельности (функционирование различных органов, выполнение физической и умственной работы, поддержание температуры тела). Пищевые вещества разделяют на макро- и микронутриенты.

Нутрификация (nitrification) — термин, близкий к термину «обогащение, добавление» функциональных ингредиентов для увеличения пищевой ценности продукта питания.

Нутрицевтики — биодобавки, концентраты БАВ, предназначенные для непосредственного приема или введения в состав пищевых продуктов с целью обогащения рациона питания человека отдельными БАВ или их комплексами.

Нутрициология (от лат. «nutritio» — питание и греч. «logos» — учение) — это наука о пище и питании, о продуктах питания, о пищевых веществах и других компонентах, содержащихся в этих продуктах, об их действии и взаимодействии, об их потреблении, усвоении, расходовании и выведении из организма, об их роли в поддержании здоровья или возникновении заболеваний. В сферу интересов нутрициологии входят питание и пища, пищевые вещества и пищевые продукты, физиологические и биохимические процессы в организме, которые связаны с поступлением, расходованием и выведением пищевых веществ и продуктов их обмена. Непосредственное отношение к нутрициологии имеют процессы нарушения здоровья под влиянием неполноценного питания и, наоборот, профилактическое и лечебное воздействие на организм человека здоровой пищи и правильного образа жизни. В круг интересов нутрициологии входят и пищевое поведение человека, и выбор пищи, и обработка и хранение пищевых продуктов, и вопросы пищевого законодательства, и многое другое. Современная нутрициология состоит из двух больших и взаимосвязанных разделов: частной и общей нутрициологии.

Нутрициология общая — включает общие сведения о питании, пище и пищевых веществах, эссенциальных и заменимых компонентах пищи. Здесь же рассматриваются сведения о содержании пищевых веществ в отдельных продуктах питания, сведения о белковом, жировом, витаминном и других видах обмена веществ.

Нутрициология частная — связана с практической стороной проблемы питания. Здесь рассматриваются вопросы нутриентной обеспеченности различных групп населения и общества в целом, применение продуктов питания в профилактических и лечебных целях, а также другие прикладные вопросы науки о питании.

Нутриом — совокупность всех пищевых и биологически активных веществ, необходимых для оптимального функционирования организма. В настоящее время нутриом включает около 600 биологически активных соединений, из которых строение и функции 200 известны и учитываются при оценке пищевого статуса.

Нутримикробиом — совокупность микроорганизмов желудочно-кишечного тракта человека.

Обмен веществ и энергии — совокупность процессов превращения веществ и энергии в живом организме и обмена организма веществами и энергией с окружающей средой.

Обогащение (enrichnient) — добавление к пищевым продуктам эссенциальных нутриентов — витаминов, макро- и микроэлементов, пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот и других биологически активных веществ природного происхождения.

Обоснование безопасности пищевой продукции — деятельность разработчика новой продукции, изготовителя продукции по установлению ее свойств и характеристик, представляющих потенциальную опасность для жизни и здоровья человека, по организации разработки гигиенических нормативов качества и безопасности, а также требований по их обеспечению на этапах обращения пищевой продукции.

Объективный метод — любой метод, где личностные ощущения испытателей сведены к минимуму.

Органические кислоты — яблочная, лимонная, янтарная, винная и другие кислоты, содержащиеся главным образом во фруктах.

Органолептическая оценка — оценка ответной реакции органов чувств человека на свойство продукта как исследуемого объекта, определяемая с помощью качественных и количественных методов.

Основной обмен — минимальное количество энергии, расходуемое человеком на осуществление жизненно важных процессов (выполнение физиологических, биохимических процессов, функционирование органов и систем) при полном покое, натощак и при комфортной температуре тела. Выражается в ккал за 1 ч (или 1 сут.) в расчете на 1 кг массы тела.

Парафармацевтики — класс БАД, по своему внешнему виду и действию близких к лекарственным средствам (таблетки, капсулы, настойки и пр.); парафармацевтики оказывают общеоздоровительное, общеукрепляющее действие на организм, могут применяться профилактически и в комплексном лечении заболеваний. В состав парафармацевтиков обычно входят природные БАВ растительного или минерального происхождения, обладающие фармакологической активностью.

Пектины — группа высокомолекулярных водорастворимых полисахаридов, составная часть клеточных стенок и межклеточных образований многих плодов и корнеплодов; в организме человека активно связывают тяжелые металлы и радионуклиды, улучшают перистальтику кишечника и способствуют более быстрому выведению токсических веществ.

Пепсин — общее название протеолитических ферментов класса гидролаз; пепсин образуется в желудочном соке из пепсиногена и участвует в переваривании белков пищи.

Пепсиноген — неактивный предшественник пепсина, превращающийся в него в присутствии соляной кислоты желудочного сока.

Пептиды — структурные элементы молекулы белков, представляющие собой два или более остатков аминокислот; к производным пептидов относятся многие гормоны, антибиотики, некоторые витамины.

Перевариваемость — способность пищи, сложных пищевых веществ распадаться в пищеварительном тракте до простых, усваиваемых организмом веществ (аминокислоты, свободные жирные кислоты и пр.).

Переваривание пищи — расщепление сложных пищевых веществ на более простые под действием ферментов, вырабатываемых органами пищеварительной системы.

Перистальтика — волнообразные сокращения полого органа (пищевода, желудка, кишечника), перемещающие содержимое этого органа.

Питание — процесс поступления, переваривания, всасывания и усвоения пищевых веществ, необходимых организму для покрытия энергетических затрат, построения и обновления тканей, поддержания репродуктивной способности, обеспечения и регуляции функций.

Питание лечебное⁷⁰ — является неотъемлемым компонентом лечебного процесса и профилактических мероприятий и включает в себя пищевые рационы, которые имеют установленный химический состав, энергетическую ценность, состоят из определенных продуктов, в том числе специализированных продуктов лечебного питания, подвергаемых соответствующей технологической обработке. Лечебное питание — питание, обеспечивающее удовлетворение физиологических потребностей организма человека в пищевых веществах и энергии с учетом механизмов развития заболевания, особенностей течения основного и сопутствующего заболеваний и выполняющее профилактические и лечебные задачи.

⁷⁰ Согласно Федеральному закону «Об основах охраны здоровья граждан» от 21.11.2011 № 323-ФЗ.

Питание лечебно-профилактическое — рацион питания, специально подобранный для предупреждения в организме нарушений, обусловленных воздействием вредных производственных факторов.

Питание неполноценное — обусловленное недостаточностью (или отсутствием) какого-либо компонента, необходимого для нормальной жизнедеятельности организма.

Питание полноценное — питание с достаточным количеством всех компонентов, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма.

Питание рациональное — сбалансированное питание при оптимальном режиме приема пищи.

Питание сбалансированное — полноценное питание с оптимальными количеством и соотношением всех компонентов пищи, в соответствии с индивидуальными физиологическими потребностями организма, с учетом всего комплекса факторов питания, их взаимосвязи в обменных процессах, а также индивидуальности ферментных систем и химических превращений в организме.

Пища — это совокупность пригодных к употреблению пищевых продуктов, натуральных или подвергнутых дополнительной обработке (промышленной, кулинарной). Пища человека состоит из продуктов растительного, животного, минерального происхождения, а также продуктов, получаемых синтетическим путем.

Пищеварение — совокупность физических, химических и физиологических процессов, в результате которых пищевые вещества расщепляются до более простых химических соединений, способных проходить через стенки желудочно-кишечного тракта, поступать в кровотоки и усваиваться клетками организма.

Пищеварение дуоденальное — происходящее в полости двенадцатиперстной кишки под действием сока поджелудочной железы, желчи и сока дуоденальных желез.

Пищеварение желудочное — происходящее в полости желудка под действием сока желудочных желез.

Пищеварение кишечное — происходящее в полости тонкой и толстой кишки под действием сока кишечных желез и кишечной микрофлоры.

Пищеварение полостное — осуществляемое пищеварительными ферментами в полости кишечника.

Пищеварение пристеночное (контактное, мембранное) — осуществляемое пищеварительными ферментами, находящимися на микроворсинках слизистой оболочки внутренней поверхности тонкой кишки.

Пищеварительная система — система, состоящая из пищеварительного тракта и пищеварительных желез.

Пищеварительные ферменты — образуются в специальных секреторных клетках пищеварительных желез и поступают внутрь пищеварительного тракта вместе со слюной, желудочным, поджелудочным и кишечным соками. Пищеварительные ферменты делятся на три основные группы: протеазы, липазы и амилазы.

Пищевая комбинаторика — способ создания проектируемых продуктов с заданными свойствами и составом, основанный на решении линейных балансовых уравнений и неравенств.

Пищевая продукция — продовольственное сырье, пищевые продукты и их ингредиенты, этиловый спирт и алкогольная продукция.

Пищевая ценность пищевого продукта — потребительское свойство пищевых продуктов, характеризующее наличие и количество необходимых для удовлетворения физиологических потребностей человека составляющих их пищевых веществ (нутриентов) и энергетическую ценность.

Пищевой рацион — необходимый качественный и количественный состав потребляемых пищевых продуктов, обеспечивающий нормальную жизнедеятельность организма.

Пищевые волокна — высокомолекулярные углеводы (гемицеллюлоза, целлюлоза, пектиновые вещества, лигнин и др., в том числе некоторые резистентные к амилазе виды крахмалов), главным образом растительной природы, устойчивы к перевариванию и усвоению в желудочно-кишечном тракте.

Пищевые добавки — природные или полученные искусственным путем вещества и их соединения, в нормальных условиях не употребляемые как пища и не используемые как типичные ингредиенты пищи, независимо от наличия у них пищевой ценности, специально вводимые в пищевые продукты для технологических целей (включая улучшение органолептических свойств) в процессе производства, обработки, упаковки, транспортирования или хранения пищевых продуктов.

Пищевые продукты — употребляемые человеком в пищу продукты в натуральном или переработанном виде (т. е. подвергнутые кулинарной или промышленной обработке), используемые в качестве источников энергии и «строительных» веществ. К пищевым продуктам отнесены продукты детского и диетического питания, минеральная вода, алкогольная продукция (в том числе пиво), безалкогольные напитки, жевательная резинка, а также продовольственное сырье, пищевые добавки, БАД и функциональные пищевые продукты.

Полость рта — начальный участок пищеварительного тракта; пищеварение во рту начинается с измельчения пищи в процессе жевания и увлажнения ее слюной, содержащей бактерицидные вещества и ферменты (амилаза и мальтаза), вызывающие расщепление углеводов до глюкозы.

Потребительские свойства пищевых продуктов — совокупность физико-химических показателей (нормируемых физико-химических характеристик конкретных видов пищевых продуктов), органолептических показателей (характеристик, определяемых с помощью зрительной, вкусовой, обонятельной, сенсорной, соматосенсорной систем), микробиологических показателей (характеристик, определяющих содержание пробиотических и/или технологических микроорганизмов в декларированных количествах).

Пребиотик — физиологически функциональный пищевой ингредиент в виде вещества или комплекса веществ, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу человеком в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате избирательной стимуляции роста и/или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника. Основными видами пребиотиков являются: ди- и трисахариды; олиго- и полисахариды; многоатомные спирты; аминокислоты и пептиды; ферменты; органические низкомолекулярные и ненасыщенные высшие жирные кислоты; антиоксиданты; полезные для человека растительные и микробные экстракты и др.

Пробиотик — функциональный пищевой ингредиент в виде полезных для человека непатогенных и нетоксикогенных живых микроорганизмов, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу в виде препаратов или в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате нормализации состава

и/или повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника.

Провитамины — предшественники витаминов в организме (например, каротиноиды — предшественники витамина А, стерины — витамина D).

Прогнозирование (от греч. «πρόγνωσις» — предвидение, предсказание) — специальное научное исследование конкретных перспектив развития какого-либо процесса.

Продовольственное сырье — сырье растительного, животного, микробиологического, минерального и искусственного происхождения и вода, используемые для изготовления пищевых продуктов.

Продукты детского питания — пищевые продукты, предназначенные для питания детей (в возрасте до 14 лет) и отвечающие физиологическим потребностям детского организма.

Продукты лечебные (диетические) и лечебно-профилактические — специально созданные для профилактического и лечебного питания, характеризуются измененным химическим составом и физическими свойствами. К ним относят продукты витаминизированные, низкожировые, низкокалорийные (менее 40 ккал/100 г), с повышенным содержанием пищевых волокон, уменьшенным количеством сахара, холестерина, хлористого натрия и др.

Продукты обогащенные — функциональные пищевые продукты, получаемые добавлением одного или нескольких функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ и/или собственной микрофлоры.

Продукты пробиотические — функциональные пищевые продукты, содержащие в качестве физиологически функционального пищевого ингредиента специально выделенные штаммы полезных для человека (непатогенных и нетоксикогенных) живых микроорганизмов, которые благоприятно воздействуют на организм человека через нормализацию микрофлоры пищеварительного тракта.

Продукты функциональные — специальные пищевые продукты, предназначенные для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающие научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающие риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающие дефицит

или восполняющие имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов.

Проектирование пищевых продуктов — процесс создания продукта, рецептур поликомпонентных продуктов питания, обеспечивающих заданный уровень его пищевой ценности.

Пролин — гетероциклическая аминокислота; заменимая аминокислота. Содержится в свободном виде и в составе многих белков. Является составной частью инсулина, адренокортикотропного гормона и других биологически важных пептидов. Метаболизм пролина тесно связан с глутаминовой кислотой.

Протеазы — ферменты, катализирующие расщепление белков.

Протеины — простые белки, состоящие только из остатков аминокислот; к протеинам относятся многие ферменты.

Рацион питания — набор рекомендуемых потребителю блюд и изделий, скомпонованных по видам приема пищи в соответствии с требованиями рационального питания.

Режим питания (*син.* пищевой режим) — характеристика питания, включающая кратность, время приема пищи и распределение ее по калорийности и химическому составу, а также поведение человека во время еды.

Резистентность — устойчивость, усиливающий.

Рекомендуемый уровень адекватного потребления — уровень суточного потребления пищевых и биологически активных веществ, установленный на основании расчетных или экспериментально определенных величин или оценок потребления пищевых и биологически активных веществ группой/группами практически здоровых людей.

Реология (гр. «rheos» течение, поток + ...логия) — раздел физики, изучающий течение и деформацию реальных сплошных сред, обладающих вязкостью, пластичностью, упругостью.

Сбалансированность пищевых веществ — соотношение пищевых веществ в рационе питания, обеспечивающее максимальную усваиваемость пищи и соответствующие потребностям организма количество и состав пищевых веществ.

Свободные радикалы — атомы или химические соединения с неспаренным электроном; с участием свободных радикалов осуществляются важные биохимические процессы (например, ферментативное окисление), однако их избыток вреден для организма.

Серин — моноаминомонокарбоновая кислота, заменимая аминокислота; играет важную роль в проявлении каталитической активности расщепляющих белки ферментов (сериновых протеаз). Участвует в биосинтезе глицина, серосодержащих аминокислот (метионина, цистеина).

Симбиоз (от греч. «symbiosis») — тип взаимоотношений организмов разных систематических групп; совместное существование, взаимовыгодное, нередко обязательное сожительство особей двух или более видов.

Синбиотик — физиологически функциональный пищевой ингредиент, представляющий собой комбинацию пробиотиков и пребиотиков, в которой пробиотики и пребиотики оказывают взаимно усиливающее воздействие на физиологические функции и процессы обмена веществ в организме человека.

Скрининг (от англ. «screening» — просеивание) — общее название методов специальных проверок, обследований.

Солевой баланс — соотношение количества поступающих в организм и выделяемых им минеральных веществ, обеспечивающее сохранение их постоянного уровня в тканях и внутренних средах организма.

Срок годности (реализации) — промежуток времени, в течение которого при соблюдении определенных условий продовольственное сырье, пищевые продукты сохраняют качество, установленное стандартом или другим нормативным документом.

Стерины — биологически активные полициклические спирты из группы стероидов, содержащиеся в клеточных мембранах всех клеток (например, холестерин).

Таурин — промежуточный продукт превращения в организме цистеина — серосодержащая аминокислота. Способствует улучшению энергетических процессов, играет важную роль в обмене липидов.

Технология — совокупность знаний о способах воздействия на сырье, материалы или полуфабрикаты соответствующими орудиями производства и о закономерностях процессов, происходящих в сырье при его превращении в готовый продукт.

Тирозин — ароматическая аминокислота, заменимая аминокислота; входит в состав многих белков и пептидов (казеин, инсулин и др.). В организме участвует в биосинтезе дофамина, адреналина, меланинов, а также гормонов щитовидной железы.

Треонин — моноаминомонокарбоновая кислота, незаменимая аминокислота; входит в состав почти всех белков. Содержится в нервной ткани, сердце, скелетных мышцах. Способствует поддержанию белкового баланса в организме. Принимает участие в выработке антител, повышает иммунную защиту, играет важную роль в образовании коллагена и эластина.

Трипсин — протеолитический фермент, катализирующий расщепление белков, пептидов, образуется из трипсиногена в просвете кишечника, участвует в переваривании пищи.

Триптофан — гетероциклическая аминокислота, незаменимая аминокислота; участвует в образовании никотиновой кислоты и серотонина. Способствует процессам роста и регенерации тканей. Недостаток триптофана в пище может быть причиной многих функциональных и органических нарушений. Добавление триптофана повышает пищевую ценность многих белков.

Углеводный обмен — вид обмена, включающий процессы поступления углеводов в организм, их расщепления, всасывания, биосинтеза углеводов, свойственных данному организму, их распада и выделения конечных продуктов.

Углеводы — природные органические соединения, представляющие собой полиатомные альдегидо- и кетонспирты, простые (моносахариды и дисахариды), сложные (олигосахариды, полисахариды); служат главным источником энергии для организма. Много углеводов в виде крахмала содержится в хлебе, рисе, кукурузе, картофеле, в кондитерских изделиях, сладких плодах и ягодах. Углеводы имеют важное значение для деятельности мышц, нервной системы, сердца, печени и других органов.

Углеводы неусваиваемые (*син.* углеводы трудноусваиваемые) — высокомолекулярные углеводы в составе продуктов растительного происхождения, слабо поддающиеся расщеплению при воздействии пищеварительных соков.

Углеводы рафинированные — легко усваиваемые углеводы, извлеченные из растительного сырья и очищенные от сопутствующих (балластных) веществ для употребления в пищу.

Углеводы усваиваемые — углеводы в составе продуктов питания, эффективно перевариваемые и используемые организмом (например, крахмал, гликоген, сахароза).

Усваиваемость пищевого вещества — доля поступившего внутрь пищевого вещества, которая использована организмом; зависит от перевариваемости пищи и от полноты всасывания.

Фальсифицированные пищевые продукты — умышленно измененные (поддельные) и/или имеющие скрытые свойства и качества, информация о которых является заведомо неполной или недостоверной.

Фенилаланин — фениламинопропионовая кислота, незаменимая аминокислота; входит в состав практически всех белков, встречается в свободном состоянии. Участвует в биосинтезе меланинов, адреналина, норадреналина, обеспечении функций щитовидной железы. Потребность организма в фенилаланине возрастает при отсутствии в пище тирозина.

Ферменты (*син.* энзимы, биокатализаторы) — белки или молекулы РНК или их комплексы, ускоряющие (катализирующие) химические реакции в живых системах.

Ферменты пищеварительные — участвующие в процессах расщепления пищевых веществ (например, пепсин, трипсин, гиалуронидаза).

Физиологическая потребность в пищевых продуктах — научно обоснованные нормы потребления пищевых продуктов, при потреблении которых полностью удовлетворяются физиологические потребности человека в необходимых веществах.

Фортификация или усиление (fortification) — дополнительное обогащение продуктов недостающими витаминами и другими эссенциальными веществами до уровня, превышающего естественный в данном продукте.

Фосфолипиды — эфиры спиртов (глицерина, сфингозина), жирных кислот, фосфорной кислоты, содержат азотистые основания (холин, этаноламин, остатки аминокислот, углеводные фрагменты); входят в состав клеточных мембран, их содержание в тканях печени достигает 50 %, в тканях мозга — 30 %.

Функциональный пищевой ингредиент — живые микроорганизмы, вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, входящие в состав функционального пищевого продукта в количестве не менее 15 % от суточной физиологической потребности, в расчете на одну порцию продукта, обладающие способностью оказывать научно обоснованный и подтвержденный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена

веществ в организме человека при систематическом употреблении содержащего их функционального пищевого продукта. К функциональным пищевым ингредиентам относят физиологически активные, ценные и безопасные для здоровья ингредиенты с известными физико-химическими характеристиками, для которых выявлены и научно обоснованы полезные для сохранения и улучшения здоровья свойства, установлена суточная физиологическая потребность: растворимые и нерастворимые пищевые волокна (пектины и др.), витамины (витамин Е, токоферолы, фолиевая кислота и др.), минеральные вещества (кальций, магний, железо, селен и др.), жиры и вещества, сопутствующие жирам (полиненасыщенные жирные кислоты, растительные стеролы, конъюгированные изомеры линолевой кислоты, структурированные липиды, сфинголипиды и др.), полисахариды, вторичные растительные соединения (флавоноиды/полифенолы, каротиноиды, ликопин и др.), пробиотики, пребиотики и синбиотики.

Холестерин — вещество, содержащееся в животных жирах, яичных желтках, икре, мозгах, печени, почках; в организме является необходимой составной частью клеток, играет большую роль в деятельности нервной системы, необходим для образования ряда гормонов, желчных кислот; нарушение обмена холестерина приводит к его отложению в стенках сосудов, образованию камней и другим патологическим процессам.

Хранимospособность — способность оставаться неизменным по значениям исходных показателей состава и свойств на срок установленного хранения, характеризуемого теми или иными конкретными условиями.

Центральная нервная система (ЦНС) — основная часть нервной системы человека, состоит из двух отделов: головного мозга и спинного мозга.

Цистеин — L-альфа-амино-бета-тиопропионовая кислота, заменимая серосодержащая кислота; входит в состав почти всех природных белков, занимает центральное место в обмене серосодержащих соединений.

Эмерджентность — принцип, отвечающий за наличие у системы таких свойств, которые не присущи ни одному ее элементу. Этот принцип утверждает, что нельзя понять всех свойств системы, изучив все свойства подсистем: некоторые свойства системы *появляются (emerge)* только благодаря сложному взаимодействию подсистем.

Энергетическая ценность пищевого вещества — количество энергии (ккал, кДж), освобождающееся в организме при окислении 1 г определенного вида пищевых веществ.

Энергетическая ценность пищевого продукта — суммарное количество энергии (ккал, кДж), освобождающееся в организме при биологическом окислении пищевых веществ, входящих в состав определенного пищевого рациона, с учетом их усвояемости.

Энергетическая ценность пищи — количество энергии (ккал, кДж), высвобождаемой в организме человека из пищевых веществ для обеспечения его физиологических функций.

Энергетический баланс — соотношение количеств энергии, поступившей в организм и израсходованной организмом на все виды физической активности, на поддержание основного обмена, роста, развития, а также на дополнительные затраты у женщин при беременности и грудном вскармливании.

Энергетический обмен — вид обмена, включающий процессы накопления, превращения, использования и рассеяния энергии.

Энерготраты суточные — сумма суточных энерготрат организма, состоящая из энерготрат основного обмена, затрат энергии на физическую активность, специфическое динамическое действие пищи (пищевой термогенез), холодовой термогенез, рост и формирование тканей у детей и дополнительных затрат энергии у беременных и кормящих грудью женщин.

Эубиотики — БАД, в состав которых входят живые микроорганизмы и/или их метаболиты, оказывающие нормализующее воздействие на состав и биологическую активность микрофлоры пищеварительного тракта.

**Нормативно-правовая база Российской Федерации
в сфере безопасности и здорового питания**

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120).
2. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года (утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. № 1873-р).
3. План мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года (утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 июня 2012 г. № 1134-р).
4. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 1364-р).
5. Федеральный закон № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» (от 2 января 2000 г. с изменениями на 1 марта 2020 г.).
6. Федеральный закон № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г.
7. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки».
8. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков».
9. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна».
10. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».
11. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки».
12. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей».

13. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию».
14. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания».
15. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».
16. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2014 «О безопасности молока и молочной продукции».
17. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 034/2104 «О безопасности мяса и мясной продукции».
18. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции».
19. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 044/2017 «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду».
20. Методические рекомендации МР 2.3.1.1915–04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ.
21. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18 декабря 2008 г.).
22. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания (утверждены приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 593н).
23. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (утверждены приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 августа 2016 г. № 614).
24. СанПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 14 ноября 2001 г.).

25. Письмо Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г. Г. Онищенко № 01/1867-0-32 от 11 февраля 2010 г. «Об обогащении микронутриентами пищевых продуктов, в том числе массовых сортов хлеба».
26. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 14 июня 2013 г. № 31 «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения».

Интеллектуальная собственность авторов в сфере цифровой нутрициологии

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU 2018665829**

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2018665829 Дата регистрации: 11.12.2018 Номер и дата поступления заявки: 2018663422 26.11.2018 Дата публикации и номер бюллетеня: 11.12.2018 Бюл. № 12 Контактные реквизиты: 105043, Москва, ул. Первомайская, 66, кв. 135, Широковой Т., ejk35@yandex.ru, 8 9037465983	Автор(ы): Баладий Михаил Юрьевич (RU), Генералов Владимир Степанович (RU), Никитюк Дмитрий Борисович (RU), Бурляева Екатерина Александровна (RU) Правообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью «Центр медицинской профилактики «Источники здоровья» (RU)
---	---

Название программы для ЭВМ:
**«Оценка и коррекция фактического питания с целью оптимизации индивидуального рациона» (ПК
 «Оптимальное питание», версия MyDiet 5.0).**

Реферат:

Программа предназначена для оценки и коррекции фактического питания, характеристики которого вводятся через интерфейс программы частотным методом или методом пищевого дневника. Для оптимизации рациона вычисляют сначала индивидуальную нутриентную норму с учетом целей оптимизации, антропометрических данных, физической активности, психологической нагрузки, вредных привычек, а также данных о хронических заболеваниях или состояниях. Оптимальным считают рацион, максимально приближенный по нутриентному составу к индивидуальной нутриентной норме. Оптимум достигается автоматически после задания диетологом ограничений на количественный и качественный состав пищи в соответствии с диетологическим анамнезом, а также на индивидуальный режим приема пищи и особенности пищевого поведения.

Язык программирования: C++

Объем программы для ЭВМ: 4500 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2013614194

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2013614194

Дата регистрации: 25.04.2013

Номер и дата поступления заявки:
2013611388 14.02.2013

Дата публикации: 20.06.2013

Авторы:

Тутельян Виктор Александрович (RU);
Батурин Александр Константинович (RU);
Мартинчик Арсений Николаевич (RU);
Михайлов Николай Александрович (RU);
Сафрова Анна Михайловна (RU)

Правообладатель:

Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Научно-исследовательский институт питания"
Российской академии медицинских наук (ФГБУ НИИ
питания РАМН) (RU)

Название программы для ЭВМ:

Программа сбора и аналитического использования данных о химическом составе российских продуктов питания

Реферат:

Программа предназначена для сбора и использования данных о химическом составе и энергетической ценности пищевых продуктов, блюд и кулинарных изделий, присутствующих на рынке и наиболее часто потребляемых населением Российской Федерации. Программа позволяет рассчитывать содержание основных пищевых веществ и микронутриентов (витаминов, минеральных веществ) в заданном количестве пищевых продуктов, а также осуществлять поиск и подбор продуктов в соответствии с заданным критерием пищевой ценности. Программа предназначена для учебных заведений профессионального образования по специальностям, связанным с пищевой индустрией, лечебно-профилактических учреждений, предприятий пищевой промышленности и общественного питания, индивидуальных пользователей.

Язык программирования: Visual Basic for Application, ASPNet

Объем программы для ЭВМ: 40 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2012620334

Химический состав пищевого сырья и продуктов питания

Правообладатель(ли): **Мусина Ольга Николаевна (RU), Сахрынин
Марат Николаевич (RU), Щетинин Михаил Павлович (RU)**

Автор(ы): **Мусина Ольга Николаевна, Сахрынин Марат
Николаевич, Щетинин Михаил Павлович (RU)**



Заявка № **2012620108**

Дата поступления **17 февраля 2012 г.**

Зарегистрировано в Реестре баз данных

4 апреля 2012 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

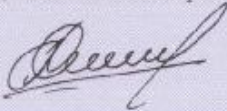
о государственной регистрации базы данных
№ 2011620073

Комбинированные сыры

Правообладатель(ли): **Мусина Ольга Николаевна (RU), Сахрынин
Марат Николаевич (RU), Щетинин Михаил Павлович (RU)**

Автор(ы): **Мусина Ольга Николаевна, Сахрынин Марат
Николаевич, Щетинин Михаил Павлович (RU)**

Заявка № **2010620790**
Дата поступления **2 декабря 2010 г.**
Зарегистрировано в Реестре баз данных
24 января 2011 г.


 Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

 Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2010616153
Идеальный Белок

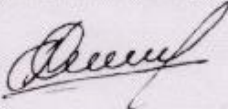
Правообладатель(ли): **Мусина Ольга Николаевна (RU),
Лисин Петр Александрович (RU)**

Автор(ы): **Мусина Ольга Николаевна,
Лисин Петр Александрович (RU)**

Заявка № **2010613138**
Дата поступления **2 июня 2010 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 сентября 2010 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2010612628

МИНИМУМ-МАКСИМУМ

Правообладатель(ли): **Мусина Ольга Николаевна (RU),
Лисин Петр Александрович (RU)**

Автор(ы): **Мусина Ольга Николаевна,
Лисин Петр Александрович (RU)**

Заявка № **2010610731**

Дата поступления **15 февраля 2010 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
15 апреля 2010 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2011611470

Проектирование рецептуры

Правообладатель(и): **Шмаков Иван Александрович (RU),
Мусина Ольга Николаевна (RU), Сахрынин Марат
Николаевич (RU), Щетинин Михаил Павлович (RU)**

Автор(ы): **Шмаков Иван Александрович,
Мусина Ольга Николаевна, Сахрынин Марат Николаевич,
Щетинин Михаил Павлович (RU)**

Заявка № 2010618181

Дата поступления **23 декабря 2010 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
14 февраля 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Двухфакторный дисперсионный анализ молочно-зерновых смесей

На основании собственных экспериментальных данных проведен двухфакторный дисперсионный анализ изменения активной кислотности молочно-зерновой смеси в зависимости от массовой доли зернового ингредиента и продолжительности сквашивания. Математическая обработка осуществлялась с помощью MathCAD. Анализ показал, что во всем изученном диапазоне степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет (1,1...2,9) %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет (97,1...98,8) %. Во всех экспериментах степень влияния неучтенных факторов составляет ничтожно малую величину. Таким образом, нарастание активной кислотности при сквашивании обусловлено в гораздо большей степени продолжительностью сквашивания (приоритетный фактор) и в малой степени зависит от массовой доли зернового ингредиента в молочно-растительной смеси.

Молочно-пшеничная смесь ($t = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$, закваска 8 %)

$$C_p = 5.271$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.361	5.284	5.245	5.194

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.555	5.35	4.138	3.963

$$\sigma_A = 0.04$$

$$\sigma_B = 2.385$$

$$\sigma_O = 2.086 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 2.427$$

$$F_A = 19.109$$

$$F_B = 1.143 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.016$$

$$rB = 0.983$$

$$\sigma_2 = 9.936 \times 10^{-5}$$

$$rC = 8.598 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,3 %.

Молочно-пшеничная смесь (t = 36 °С, закваска 4 %)

$$Cp = 5.489$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.559	5.49	5.48	5.429

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.545	5.36	3.997	5.85

$$\sigma A = 0.023$$

$$\sigma B = 1.57$$

$$\sigma O = 9.208 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.594$$

$$FA = 24.837$$

$$FB = 1.705 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.014$$

$$rB = 0.985$$

$$\sigma_2 = 4.385 \times 10^{-5}$$

$$rC = 5.777 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,4 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,5 %.

Молочно-пшеничная смесь (t = 32 °С, закваска 8 %)

$$C_p = 5.223$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.3	5.246	5.2	5.148

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.798	5.728	5.652	5.513	5.287	4.03	3.93

$$\sigma_A = 0.034$$

$$\sigma_B = 2.483$$

$$\sigma_O = 3.996 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.517$$

$$FA = 84.748$$

$$FB = 6.214 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.013$$

$$rB = 0.986$$

$$\sigma_2 = 1.903 \times 10^{-5}$$

$$rC = 1.587 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,6 %.

Молочно-пшеничная смесь (t = 32 °С, закваска 4 %)

$$C_p = 5.248$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.325	5.268	5.225	5.175

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.798	5.728	5.652	5.513	5.287	4.223	3.935

$$\sigma_A = 0.032$$

$$\sigma_B = 2.231$$

$$\sigma_O = 4.387 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.264$$

$$FA = 73.961$$

$$FB = 5.087 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.014$$

$$rB = 0.985$$

$$\sigma_2 = 2.089 \times 10^{-5}$$

$$rC = 1.937 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,4 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,5 %.

Молочно-пшеничная смесь (t = 28 °С, закваска 8 %)

$$C_p = 5.127$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.224	5.155	5.104	5.025

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.433	4.8	4.03	3.93

$$\sigma A = 0.056$$

$$\sigma B = 2.41$$

$$\sigma O = 9.256 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.467$$

$$FA = 60.758$$

$$FB = 2.603 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.023$$

$$rB = 0.977$$

$$\sigma 2 = 4.408 \times 10^{-5}$$

$$rC = 3.752 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,7 %.

Молочно-пшеничная смесь (t = 28 °С, закваска 4 %)

$$Cp = 5.164$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.261	5.192	5.141	5.063

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.433	5.1	4.03	3.93

$$\sigma A = 0.056$$

$$\sigma B = 2.343$$

$$\sigma O = 9.256 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.4$$

$$FA = 60.758$$

$$FB = 2.531 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.023$$

$$rB = 0.976$$

$$\sigma_2 = 4.408 \times 10^{-5}$$

$$rC = 3.857 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,6 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 36 °C, закваска 8 %)

$$Cp = 5.272$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.361	5.286	5.246	5.196

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.805	5.768	5.725	5.555	5.405	4.109	3.963

$$\sigma A = 0.039$$

$$\sigma B = 2.419$$

$$\sigma O = 1.591 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 2.459$$

$$FA = 24.402$$

$$FB = 1.52 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.016$$

$$rB = 0.984$$

$$\sigma_2 = 7.578 \times 10^{-5}$$

$$rC = 6.471 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,4 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 36 °С, закваска 4 %)

$$C_p = 5.283$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.361	5.281	5.269	5.22

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.545	5.36	4.197	3.997

$$\sigma_A = 0.027$$

$$\sigma_B = 2.254$$

$$\sigma_O = 1.04 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 2.283$$

$$FA = 26.404$$

$$FB = 2.168 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.012$$

$$rB = 0.988$$

$$\sigma_2 = 4.953 \times 10^{-5}$$

$$rC = 4.556 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,2 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,8 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 32 °C, закваска 8 %)

$$C_p = 5.22$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.313	5.253	5.188	5.129

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.798	5.728	5.652	5.513	5.225	4.067	3.93

$$\sigma_A = 0.051$$

$$\sigma_B = 2.43$$

$$\sigma_O = 1.691 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 2.483$$

$$FA = 29.951$$

$$FB = 1.437 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.02$$

$$rB = 0.979$$

$$\sigma_2 = 8.053 \times 10^{-5}$$

$$rC = 6.812 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,0 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,9 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 32 °C, закваска 4 %)

$$C_p = 5.255$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.339	5.275	5.23	5.175

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.798	5.728	5.652	5.513	5.33	4.232	3.935

$$\sigma A = 0.039$$

$$\sigma B = 2.223$$

$$\sigma O = 5.698 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.262$$

$$FA = 67.574$$

$$FB = 3.901 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.017$$

$$rB = 0.983$$

$$\sigma 2 = 2.713 \times 10^{-5}$$

$$rC = 2.519 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,7 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,3 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 28 °С, закваска 8 %)

$$Cp = 5.143$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.249	5.171	5.116	5.038

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.433	4.933	4.03	3.93

$$\sigma A = 0.064$$

$$\sigma B = 2.369$$

$$\sigma O = 1.772 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 2.434$$

$$FA = 35.852$$

$$FB = 1.337 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.026$$

$$rB = 0.973$$

$$\sigma_2 = 8.439 \times 10^{-5}$$

$$rC = 7.28 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,3 %.

Молочно-овсяная смесь (t = 28 °C, закваска 4 %)

$$Cp = 5.174$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.261	5.204	5.157	5.074

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.46	5.15	4.03	3.93

$$\sigma_A = 0.05$$

$$\sigma_B = 2.349$$

$$\sigma_O = 7.103 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 2.4$$

$$FA = 70.658$$

$$FB = 3.307 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.072$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.488$$

$$rA = 0.021$$

$$rB = 0.979$$

$$\sigma_2 = 3.382 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 2.96 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,1 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,9 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 36 °С, закваска 8 %)

$$C_p = 5.435$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.51	5.441	5.42	5.369

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.555	5.35	3.978

$$\sigma_A = 0.024$$

$$\sigma_B = 1.774$$

$$\sigma_O = 1.112 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.799$$

$$F_A = 21.615$$

$$F_B = 1.595 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$r_A = 0.013$$

$$r_B = 0.986$$

$$\sigma_2 = 6.179 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 6.182 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,6 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 36 °С, закваска 4 %)

$$C_p = 5.439$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.513	5.44	5.427	5.376

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5.85	5.82	5.768	5.725	5.545	5.36	4.005

$$\sigma_A = 0.022$$

$$\sigma_B = 1.718$$

$$\sigma_O = 1.142 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.742$$

$$FA = 19.61$$

$$FB = 1.504 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.013$$

$$rB = 0.986$$

$$\sigma_2 = 6.347 \times 10^{-5}$$

$$rC = 6.558 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,6 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 32 °С, закваска 8 %)

$$C_p = 5.394$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.469	5.417	5.371	5.319

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5.85	5.798	5.728	5.652	5.513	5.287	3.93

$$\sigma_A = 0.029$$

$$\sigma_B = 1.812$$

$$\sigma_O = 4.504 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.841$$

$$FA = 63.698$$

$$FB = 4.022 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.016$$

$$rB = 0.984$$

$$\sigma_2 = 2.502 \times 10^{-5}$$

$$rC = 2.447 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,4 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 32 °C, закваска 4 %)

$$Cp = 5.399$$

$$CpA^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 5.47 & 5.417 & 5.377 & 5.331 \\ \hline \end{array}$$

$$CpB^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 1 & 5.855 & 5.798 & 5.728 & 5.652 & 5.522 & 5.3 & 3.938 \\ \hline \end{array}$$

$$\sigma_A = 0.024$$

$$\sigma_B = 1.8$$

$$\sigma_O = 4.321 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.825$$

$$FA = 56.229$$

$$FB = 4.165 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.013$$

$$rB = 0.986$$

$$\sigma_2 = 2.401 \times 10^{-5}$$

$$rC = 2.368 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,6 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 28 °С, закваска 8 %)

$$Cp = 5.281$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	5.379	5.309	5.26	5.176

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.433	4.8	3.91

$$\sigma A = 0.051$$

$$\sigma B = 1.931$$

$$\sigma O = 1.05 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.983$$

$$FA = 48.44$$

$$FB = 1.838 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.026$$

$$rB = 0.974$$

$$\sigma_2 = 5.836 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 5.298 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,4 %.

Молочно-гречишная смесь (t = 28 °С, закваска 4 %)

$$C_p = 5.328$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	5.426	5.357	5.307	5.221

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5.85	5.735	5.665	5.573	5.433	5.1	3.94

$$\sigma_A = 0.052$$

$$\sigma_B = 1.734$$

$$\sigma_O = 1.012 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.787$$

$$F_A = 51.147$$

$$F_B = 1.713 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$r_A = 0.029$$

$$r_B = 0.97$$

$$\sigma_2 = 5.624 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 5.666 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,9 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,0 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 36 °C, закваска 8 %)

$$C_p = 4.436$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.51	4.444	4.42	4.37

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.82	4.768	4.725	4.555	4.372	2.963

$$\sigma_A = 0.024$$

$$\sigma_B = 1.801$$

$$\sigma_O = 1.24 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.826$$

$$FA = 19.105$$

$$FB = 1.452 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.013$$

$$rB = 0.986$$

$$\sigma_2 = 6.892 \times 10^{-5}$$

$$rC = 6.793 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,6 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 36 °C, закваска 4 %)

$$C_p = 4.443$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.51	4.449	4.43	4.384

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.82	4.768	4.73	4.553	4.375	3.008

$$\sigma_A = 0.019$$

$$\sigma_B = 1.715$$

$$\sigma_O = 7.429 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.735$$

$$FA = 25.556$$

$$FB = 2.309 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.011$$

$$rB = 0.989$$

$$\sigma_2 = 4.127 \times 10^{-5}$$

$$rC = 4.282 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,1 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,9 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 32 °С, закваска 8 %)

$$C_p = 4.396$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.469	4.417	4.374	4.324

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.798	4.728	4.652	4.52	4.295	2.93

$$\sigma_A = 0.026$$

$$\sigma_B = 1.812$$

$$\sigma_O = 4.016 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.839$$

$$FA = 65.819$$

$$FB = 4.512 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.014$$

$$rB = 0.985$$

$$\sigma_2 = 2.231 \times 10^{-5}$$

$$rC = 2.184 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,4 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,5 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 32 °C, закваска 4 %)

$$Cp = 4.398$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	4.469	4.417	4.376	4.331

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.798	4.728	4.652	4.522	4.303	2.935

$$\sigma_A = 0.024$$

$$\sigma_B = 1.801$$

$$\sigma_O = 3.861 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.826$$

$$FA = 62.094$$

$$FB = 4.666 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.013$$

$$rB = 0.987$$

$$\sigma_2 = 2.145 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 2.115 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,3 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,7 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 28 °C, закваска 8 %)

$$C_p = 4.29$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.381	4.313	4.274	4.193

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.735	4.665	4.573	4.455	3.825	2.93

$$\sigma_A = 0.043$$

$$\sigma_B = 1.883$$

$$\sigma_O = 6.179 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.927$$

$$F_A = 70.11$$

$$F_B = 3.048 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$r_A = 0.022$$

$$r_B = 0.977$$

$$\sigma_2 = 3.433 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 3.206 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,2 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,7 %.

Молочно-чечевичная смесь (t = 28 °C, закваска 4 %)

$$C_p = 4.331$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.424	4.356	4.31	4.234

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.735	4.665	4.573	4.445	4.12	2.93

$$\sigma_A = 0.045$$

$$\sigma_B = 1.749$$

$$\sigma_O = 7.123 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.794$$

$$FA = 62.592$$

$$FB = 2.455 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.025$$

$$rB = 0.975$$

$$\sigma_2 = 3.957 \times 10^{-5}$$

$$rC = 3.971 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,5 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,5 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 36 °C, закваска 8 %)

$$C_p = 4.433$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.51	4.441	4.416	4.364

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.82	4.768	4.725	4.555	4.35	2.963

$$\sigma_A = 0.026$$

$$\sigma_B = 1.803$$

$$\sigma_O = 1.367 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.83$$

$$FA = 18.81$$

$$FB = 1.319 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.014$$

$$rB = 0.985$$

$$\sigma_2 = 7.595 \times 10^{-5}$$

$$rC = 7.469 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,4 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,5 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 36 °С, закваска 4 %)

$$C_p = 4.438$$

$$C_{pA}^T =$$

	1	2	3	4
1	4.51	4.439	4.427	4.376

$$C_{pB}^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.82	4.768	4.725	4.545	4.36	2.997

$$\sigma_A = 0.021$$

$$\sigma_B = 1.733$$

$$\sigma_O = 1.038 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.755$$

$$FA = 20.646$$

$$FB = 1.67 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.012$$

$$rB = 0.987$$

$$\sigma_2 = 5.765 \times 10^{-5}$$

$$rC = 5.912 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,2 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,7 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 32 °C, закваска 8 %)

$$Cp = 4.394$$

$$CpA^T =$$

	1	2	3	4
1	4.469	4.417	4.372	4.319

$$CpB^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.798	4.728	4.652	4.513	4.287	2.93

$$\sigma_A = 0.029$$

$$\sigma_B = 1.812$$

$$\sigma_O = 4.517 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.841$$

$$FA = 63.455$$

$$FB = 4.012 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.016$$

$$rB = 0.984$$

$$\sigma_2 = 2.509 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 2.453 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,4 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 32 °C, закваска 4 %)

$$C_p = 4.397$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.469	4.42	4.377	4.321

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.798	4.728	4.652	4.513	4.297	2.94

$$\sigma_A = 0.027$$

$$\sigma_B = 1.791$$

$$\sigma_O = 4.044 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 1.819$$

$$F_A = 67.84$$

$$F_B = 4.429 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$r_A = 0.015$$

$$r_B = 0.985$$

$$\sigma_2 = 2.246 \times 10^{-5}$$

$$r_C = 2.223 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 1,5 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 98,5 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 28 °C, закваска 8 %)

$$C_p = 4.284$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.381	4.313	4.261	4.179

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.735	4.665	4.573	4.433	3.8	2.93

$$\sigma_A = 0.051$$

$$\sigma_B = 1.895$$

$$\sigma_O = 1.039 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.947$$

$$FA = 49.278$$

$$FB = 1.823 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.026$$

$$rB = 0.973$$

$$\sigma_2 = 5.774 \times 10^{-5}$$

$$rC = 5.339 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,6 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,3 %.

Молочно-ржаная смесь (t = 28 °C, закваска 4 %)

$$C_p = 4.326$$

$$C_p A^T =$$

	1	2	3	4
1	4.424	4.356	4.304	4.221

$$C_p B^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	4.85	4.735	4.665	4.573	4.433	4.1	2.93

$$\sigma A = 0.051$$

$$\sigma B = 1.753$$

$$\sigma O = 1.039 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = 1.805$$

$$FA = 49.278$$

$$FB = 1.686 \times 10^3$$

$$qF[1 - \alpha, A - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 3.16$$

$$qF[1 - \alpha, B - 1, (A - 1) \cdot (B - 1)] = 2.661$$

$$rA = 0.028$$

$$rB = 0.971$$

$$\sigma 2 = 5.774 \times 10^{-5}$$

$$rC = 5.759 \times 10^{-4}$$

Степень влияния фактора А на изменчивость активной кислотности составляет 2,8 %. Степень влияния фактора В на активную кислотность составляет 97,1 %.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Тутельян Виктор Александрович — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», заведующий лабораторией энзимологии питания «ФИЦ питания и биотехнологии», главный внештатный специалист-диетолог Минздрава России, 109240, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14, тел. +7 (495) 698-53-46, e-mail: tutelyan@ion.ru



Мусина Ольга Николаевна — доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», руководитель «Сибирского научно-исследовательского института сыроделия», профессор кафедры технологии продуктов питания Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова». 656016, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Советской Армии, 66, тел. +7(3852)56-45-05, e-mail: musina-

olga@gmail.com



Балыхин Михаил Григорьевич — доктор экономических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел. +7(499)158-72-01, e-mail: mgupp@mgupp.ru



Щетинин Михаил Павлович — доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», заведующий кафедрой технологии продуктов питания Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова». 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел. +7(499)750-01-11, e-mail: shchetininmihail@mgupp.ru



Никитюк Дмитрий Борисович — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, «ФИЦ питания и биотехнологии». 109240, г. Москва, Устьинский проезд, 2/14, тел. +7(495)698-53-46, e-mail:

nikitjuk@ion.ru

Научное издание

Тутельян Виктор Александрович

Мусина Ольга Николаевна

Балыхин Михаил Григорьевич

Щетинин Михаил Павлович

Никитюк Дмитрий Борисович

**ЦИФРОВАЯ НУТРИЦИОЛОГИЯ:
применение информационных технологий
при разработке и совершенствовании пищевых продуктов**

Редактор *Е. М. Федяева*

Подписано в печать 23.09.2020.

Формат 70х100 / 16. Бумага офсетная.

Усл.-печ. л. 31. Тираж 200 экз. Заказ 379.

Отпечатано в типографии ООО «АЗБУКА»

г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98а

тел. 62-91-03, 62-77-25

E-mail: azbuka@dsmail.ru